

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

О. М. Касімов, Т. С. Айрапетян

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«ЗВОРОТНІ І БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»

*(для студентів освітнього рівня «магістр»
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
спеціалізація (освітня програма) «Раціональне використання
і охорона водних ресурсів»)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017

Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисципліни «Зворотні і безстічні системи водопостачання промислових підприємств» (для студентів освітнього рівня «магістр», спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізація (освітня програма) «Рациональне використання і охорона водних ресурсів») / О. М. Касімов, Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 150 с.

Автори: д-р техн. наук, професор О. М. Касімов
канд. техн. наук, доцент Т. С. Айрапетян

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Т. О. Шевченко, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 30.08.2016 р.

© Касімов О. М., 2017

© Айрапетян Т. С., 2017

© ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017

ЗМІСТ

ЗМ 1.1 ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	6
ТЕМА 1 СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ І КОМУНАЛЬНИХ СТОКІВ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХНЬОГО ВДОСКОНАЛЮВАННЯ.....	6
1.1 Сучасні тенденції розвитку промислового і комунального водопостачання в умовах України.....	6
1.2 Огляд основних методів очищення промислових і комунальних стоків.....	8
ТЕМА 2 ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	11
2.1 Системи промислового водопостачання.....	11
2.2 Використання води в промисловості. Типи водоспоживання.....	12
2.3 Схеми виробничого водопостачання.....	13
2.4 Вимоги споживачів до якості води.....	18
ТЕМА 3 ЗВОРОТНІ ТА БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	21
3.1 Раціональні схеми використання води на промислових підприємствах. Критерії ефективності використання води промисловими підприємствами.....	21
3.2 Основні принципи створення зворотних та повністю замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств...	24
3.3 Втрати води у зворотних системах. Водний і сольовий баланси зворотних систем.....	26
3.4 Поняття коефіцієнта концентрування солей або коефіцієнта випаровування. Визначення K_k на підставі водного балансу системи....	28
3.5 Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи. Рівняння водно-сольового балансу.....	28
ТЕМА 4. ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ.....	32
4.1 Класифікація систем охолодження.....	32
4.2 Система водяного охолодження, принцип і схеми.....	33
4.3 Випарне охолодження, принцип і схеми.....	34
4.4 Техніко-економічні показники систем охолодження.....	37
ТЕМА 5. ОХОЛОДЖУВАЧІ ВОДИ.....	39
5.1 Процеси охолодження в охолоджувачах.....	39
5.2 Класифікація споруд для охолодження води.....	40
5.3 Якісна і кількісна характеристики роботи охолоджувачів.....	40
5.4 Водосховища-охолоджувачі.....	41
5.5 Бризкальні басейни.....	41
5.6 Типи градирень та їх конструкції.....	43
ТЕМА 6 МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ І СТИЧНИХ ВОД, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПІДЖИВЛЕННЯ ЗАМКНЕНИХ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ.....	50

6.2 Формування сольового складу і стабілізація іонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання.....	50
6.2 Прояснення підживлювальної води і стабілізувальної витрати зворотної води.....	52
6.3 Іонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод й стабілізувальної витрати перед підживленням замкнених зворотних систем.....	54
ТЕМА 7 НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	58
7.1 Використання біологічно очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання. Вимоги до якості очищених стічних вод, що застосовують для підживлення зворотних систем водопостачання...	58
7.2 Технологічні схеми підготовки стічних вод для використання у промисловості.....	62
7.3 Доочищення біологічно очищених стічних вод коагулянтами та активним вугіллям.....	65
7.4 Зм'якшення та зменшення мінералізації біологічно очищених стічних вод після адсорбційного очищення.....	68
7.5 Використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.....	70
<i>ЗМ 1.2 ОЧИЩЕННЯ І ПОВТОРНЕ (БАГАТОРАЗОВЕ) ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ</i>	77
ТЕМА 8 ЗВОРОТНІ ТА ЗАМКНЕНІ СИСТЕМИ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ГІРНИЧОМЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	77
8.1 Водне господарство підприємств чорної металургії.....	77
8.2 Обробка стічних вод на локальних очисних спорудах.....	78
8.3 Досвід проектування і практика експлуатації замкнених (безстічних) й маловідходних систем водного господарства. Значення хвостових установок.....	84
ТЕМА 9 ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ЦЕХІВ МАШИНОБУДІВНИХ ЗАВОДІВ ТА ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ І КОЛЬОРОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ.....	86
9.1 Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод.....	89
9.2 Огляд основних методів, технологічних схем й обладнання процесів очищення СВ гальванічних виробництв.....	91
9.3 Маловідходні іонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів.....	102
ТЕМА 10 МЕТОДИ ІОННОЇ ФЛОТАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОНОАКТИВНИХ ПАР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД.....	106
10.1 Очищення промислових скидів із використанням хімічно активних реагентів.....	106

10.2 Доочищення виробничих стічних вод від іоноактивних ПАР.....	
10.3 Відстійники, шламонакопичувачі і хвостосховища стічних вод і шламів гірничометалургійних підприємств, їх вплив на водний басейн р. Дніпро.....	111
ТЕМА 11 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД СУСПЕНЗІЙ І РОЗЧИНЕНИХ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ.....	117
11.1 Основне обладнання для очищення СВ металургійних і машинобудівних заводів, забруднених суспензіями й солями ВРМ, розроблене в ДП УкрНТЦ «Енергосталь».....	117
11.2 Зниження вмісту цинку в оборотній воді систем газоочисток доменного виробництва.....	131
Тема 12 Очищення стічних вод гірничометалургійних підприємств від твердої фази і флотореагентів.....	141
12.1 Гравітаційне осадження та ущільнення шламів металургійного виробництва. Сучасні технологічні і апаратурно-технологічні схеми процесів.....	141
12.2 Новітні технології, розроблені в ДП «УкрНТЦ «Енергосталь» Гравітаційне зневоднювання суміші суспензій газоочисток доменних печей й аглоцефа під впливом постійного електричного струму.....	144
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	148

ЗМ 1.1 ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

ТЕМА 1 СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ І КОМУНАЛЬНИХ СТОКІВ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХНЬОГО ВДОСКОНАЛЮВАННЯ

1. Сучасні тенденції розвитку промислового і комунального водопостачання в умовах України
2. Огляд основних методів очищення промислових і комунальних стоків

1.1 Сучасні тенденції розвитку промислового і комунального водопостачання в умовах України

Забезпечення споживачів якісною питною водою є одним з пріоритетних завдань, вирішити яке необхідно для збереження здоров'я, поліпшення умов життя й трудової діяльності населення загалом і кожної конкретної людини окремо.

Україна належить до європейських держав, найменше забезпеченими власними водними ресурсами, але, незважаючи на це, витрата свіжої води на одиницю виготовленої продукції значно більше відповідних показників в інших країнах Європи. Додатковим фактором напруженого режиму функціонування водогосподарчого комплексу країни є нерівномірність територіального розподілу водних ресурсів, що не тільки не кореспондується з розміщенням водоемних галузей економіки, але й обернено пропорційний їхньому місцю розташування.

Україна належить до недостатньо забезпечених водою країн. Крім того, її водні ресурси розподілені дуже нерівномірно по території, а також у часі.

Постачання населення й промислових об'єктів водою питної якості на 80 % забезпечується за допомогою поверхневих джерел (ріки, озера, водоймища). За офіційним даними їхні потенційні запаси становлять близько 209,3 км³, з яких тільки 25 % формуються в межах держави. Головними поверхневими джерелами прісної води є ріки Дніпро, Дністер, Південний Буг, Сіверський Донець, Дунай, а також малі ріки північного узбережжя Чорного й Азовського морів.

Наша країна загалом має також значні ресурси підземних вод, на базі яких можна організувати питне водопостачання, але вони розподілені по регіонах нерівномірно.

Обсяг оцінюваних прогнозованих ресурсів підземних вод становить 61,7 млн м³/добу, з них 26 % або 15,8 млн м³ – експлуатовані запаси.

Найбільша їхня кількість (більше 75 %) зосереджена на північно-заході. Найменш забезпечений підземними водами південний регіон.

Якість питної води значною мірою визначається якістю водних джерел водопостачання. Отже, забезпечення водою необхідної якості в повному обсязі ускладнено через незадовільний стан водних об'єктів. Незважаючи на скорочення промислового виробництва й використання хімічних речовин у

сільському господарстві порівняно з попереднім періодом розвитку країни, у цей час спостерігається погіршення якості води, як поверхневих, так і підземних джерел.

Найгостріший екологічний стан існує в басейнах рік Дніпро, Сіверський Донець, ріках Приазов'я. Головні причини забруднення природних джерел такі:

- скидання недостатньо очищених і неочищених промислових і комунально-побутових стічних вод;
- надходження забруднюючих речовин із поверхневим стоком із забудованих територій і сільськогосподарських угідь;
- ерозія ґрунтів на водозабірній території.

До характерних компонентів, що забруднюють поверхневі джерела, належать: нафтопродукти, амонійний і нітритний азот, важкі метали, синтетичні поверхневі речовини (далі – СПАР), завислі речовини, наявність яких здебільшого обумовлено господарською діяльністю людини. До несприятливих властивостей води з поверхневих джерел належить також надмірний розвиток у літній період мікроскопічних водоростей (цвітіння водойм).

Не кращою є й ситуація з підземними джерелами, якість води яких має стійку тенденцію до погіршення. Одночасно з природними, на формування підземних вод значно впливають антропогенні фактори. У разі нераціональної експлуатації водоносного обрію, відборі води з перевищеннями його водоносної здатності, її надходження можливо з інших, вище або нижче розташованих шарів, що супроводжується зміною мінералізації.

Відмінною ознакою процесу забруднення підземних вод є те, що він безпосередньо пов'язаний із забрудненнями інших природних середовищ – атмосферного повітря, поверхневих вод, ґрунту. Найбільшою мірою піддані забрудненню підземні води, розташовані близько до поверхні землі – ґрунтові води й води перших від поверхні напірних водоносних горизонтів, що становлять зону активного водообміну.

Зміна якості цих вод значною мірою залежить від забруднення поверхневих вод, що особливо проявляється на родовищах підземних вод річкових долин.

Не менш важливим фактором забруднення підземних вод є забруднення приземної частини атмосфери, активною причиною якого є викиди промислових підприємств й автотранспорту. Систематичне випадання забруднюючих речовин з атмосферними опадами, перенесення цих речовин на більші відстані призводить до регіональної зміни хімічного складу ґрунтових вод, появи й нагромадженню в них різних речовин, зокрема специфічних і не властивих природним водам.

Цьому також сприяє також забруднення ґрунту, обумовлене несанкціонованим складуванням промислових відходів, витоками із систем каналізації й промислових трубопроводів. Забруднення в підземні обрії надходять також унаслідок інфільтрації стічних вод із хвосто- і шламосховищ у разі незадовільної їхньої гідроізоляції, а також з полів фільтрації. Таким

чином, забруднення підземних вод тісно пов'язане із забрудненням навколишнього середовища загалом.

Особливо помітна зміна якості підземних вод у промислових регіонах, найбільш незадовільний стан яких, спостерігається в Кривбасі.

Підвищення загальної мінералізації підземних вод і вмісту в них сполук важких і рідких металів спостерігаються повсюдно, і ще зовсім недавно надійні джерела якісної питної води перетворюються в повністю непридатні для питних потреб за багатьма інгредієнтами.

Водночас головні тенденції розвитку комунального й промислового водопостачання будуть пов'язані з модернізацією класичних методів очищення поверхневих вод (відстоювання, фільтрування, знезаражування) використанням нових фільтрувальних завантажень, реагентів, устаткування й комунікацій із сучасних матеріалів.

На ринку сучасних технологій очищення води з'являються високоякісні вітчизняні й імпорتنі коагулянти композитного складу (наприклад, фірми ТОВ «Формула – 1», м. Запоріжжя, серії «Полвак», флокулянти («Біфлок», виробництва ЗАТ НПП «Біотехпрогрес», Росія).

Багато фірм й організації пропонують замінити традиційно використовуваний для завантаження фільтрів кварцовий пісок більш ефективнішими фільтрувальними матеріалами, такими як антрацит, гранітна крихта, дроблений кремій, цеоліти.

Фільтри обладнують новими дренажно-розподільними системами з дрібнопористих синтетичних матеріалів, які дадуть змогу робити водоповітряне промивання та відмовитися (значно зменшити) від використання підтримувальних шарів.

1.2 Огляд основних методів очищення промислових і комунальних стоків

Очищення виробничих стічних вод організується з метою використання їх у системах оборотного, послідовного чи замкненого водопостачання, забезпечення умов прийому у міські системи водовідведення або скидання у водні об'єкти.

Використання очищених стічних вод у системах оборотного водопостачання є центральним питанням загальної проблеми переведення підприємств на режим без скидання стічних вод.

Для очищення стічних вод промислових підприємств застосовуються головним чином:

- механічні методи (проціджування, відстоювання у відстійниках, пісковловлювачах, нафтовловлювачах; гідроциклонах, осаджувальних центрифугах та фільтрування води);
- хімічні методи (нейтралізація, коагуляція, флокуляція);
- фізико-хімічні методи (флотація, сорбція, екстракція, евапорація);
- електрохімічні методи, що пов'язані з накладанням електричного поля – електрокоагуляція, електрофлотація;

- комбіновані методи.

Головним фактором при виборі методу обробки води є фазовий стан речовини.

Вибір методу очищення води, типи і розміри очисних споруд залежать від складу, властивостей і витрат промстоків, площі території підприємства та інших факторів, а також вимог до якості очищеної води.

На різних ПП *механічне очищення* є єдиним і достатнім способом очищення стічних вод від механічних домішок і для підготовки їх до повторного використання в системах оборотного водопостачання.

Очищення промислових стоків – це комплекс різних методів. Найширше використовується комбінація механічного, реагентного (хімічного) і біохімічного очищення.

1. Механічне очищення стоків містить у собі: відстоювання стічних вод у спеціальних відстійниках, унаслідок якого відбувається осадження завислих у воді часток; збір нафтопродуктів й інших нерозчинних у воді рідин з поверхні води у відстійниках; фільтрацію води через шар піску завтовшки 1,5–2 м.

2. Реагентне (хімічне) очищення – хімічне очищення стічних вод шляхом оброблення їх реагентами, які нейтралізують забруднюючі речовини й переводять їх у нетоксичну або малорозчинну форму.

3. Біохімічне очищення. Аеробне біохімічне очищення полягає в мінералізації органічних речовин промислових або побутових стоків окислюванням їх у присутності аеробних мікроорганізмів (мінералізаторів). Процес очищення проходить в умовах інтенсивного споживання мікроорганізмами розчиненого у воді кисню. Найчастіше джерелом аеробних бактерій слугує так званий активний мул.

В основі анаеробного біохімічного очищення є метанове бродіння, здійснюване в присутності метанотворювальних бактерій. Як продукти бродіння виходять газ, що складається з метану (65 %) і CO_2 (33 %), і осад, що ущільнюють, сушать і потім використовують як добриво або, якщо є токсичні домішки, спалюють.

Ефективність біохімічного очищення на найсучасніших установках становить 90 % за органічними речовинами і лише 20–40 % за неорганічними, оскільки внаслідок цього практично не знижується солевміст води.

4. Знезаражування води. Останньою стадією підготовки води для питних потреб є її знезаражування – знищення в ній хвороботворних мікроорганізмів за допомогою хлору, фтору або озону. Через воду можуть поширюватися такі небезпечні інфекційні захворювання, як холера, черевний тиф, гепатит тощо.

5. Очищення води від солей (демінералізація води).

Вода питної якості повинна містити солей не більше 1000 мг/л, з них: хлоридів не більше 350 мг/л і сульфатів не більше 500 мг/л. Існує декілька методів демінералізації природних і стічних вод:

- дистиляція (випарювання); при кип'ятінні стічної води в пару переходить вода й леткі органічні речовини, а мінеральні й органічні солі залишаються в кубі. Головний недолік цього методу – велика витрата

енергії. Із цієї причини найпотужніші випарні установки споруджують на підприємствах атомної енергетики, що мають дешеву теплову енергію;

- виморожування; при кристалізації води, що містить солі, передусім виділяються кристали прісного льоду. Порівняно з дистиляцією виморожування має енергетичні, технологічні та конструкційні переваги;

- мембранні методи, що засновані на властивості напівпроникних мембран (синтетичні полімерні плівки) вибірково пропускати через себе молекули води, але затримувати розчинені в ній солі й органічні речовини. До них належать електродіаліз й ультрафільтрація (зворотний осмос);

- електродіаліз – метод демінералізації й концентрування розчинів, заснований на спрямованому переносі іонів солей у поле постійного струму через напівпроникну мембрану. За кордоном цей метод набув широкого розповсюдження для знесолення морської води;

- метод зворотного осмосу базується на очищенні водяних розчинів шляхом їхньої фільтрації через напівпроникну мембрану під тиском 6–8 МПа. Процес характеризується порівняно невеликими витратами енергії. За кордоном опановано виробництво подібних установок продуктивністю до 1 тис. м³/добу;

- іонний обмін, що заснований на виборчому поглинанні іонів, що втримуються у воді, у шарі іоніту є головним для готування глибоко знесоленої води для АЕС і ТЕС із казанами надвисокого й критичного тиску. Крім того, він використовується в оборотних циклах на підприємствах для концентрування й витягу зі стічних вод коштовних компонентів (наприклад, іонів важких металів). Широкого застосування цей метод набув також у практиці зм'якшення води, тобто видалення солей постійної твердості.

6. Видалення залишкових органічних речовин. Після очищення в стічних водах можуть залишитися органічні речовини. Кращий спосіб їхнього видалення – адсорбція активованим вугіллям. Для цього воду пропускають через колонки з активованим вугіллям (час контакту – 20–40 хв). Адсорбція ефективна для більшості органічних сполук і використовується для очищення побутових стоків від рідких відходів перегонки нафти, фенолів й інших ароматичних з'єднань.

Головний критерій якості води – порівняння із гранично припустимою концентрацією речовин (далі – ГДК) (на сьогодні замість ГДК використовують тимчасово припустимі рівні (забруднення)), що втримуються у воді. При цьому скидання у водойми нових речовин, ГДК яким не визначені, заборонено.

ТЕМА 2 ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

1. Системи промислового водопостачання.
2. Використання води в промисловості. Типи водоспоживання.
3. Схеми виробничого водопостачання.
4. Вимоги споживачів до якості води

2.1 Системи промислового водопостачання

Система водопостачання промислових підприємств становить комплекс споруд, устаткування і трубопроводів, що забезпечують забір води з природного джерела, очищення й оброблення, транспортування і подачу води споживачам необхідної кількості й якості.

У системах технічного водопостачання передбачають також споруди й устаткування, необхідне для прийому відпрацьованої води та підготовки її для повторного використання, а також станції очищення стічних вод.

На підприємствах залежно від прийнятих технологій, виготовленої продукції, потужності, займаних площ може існувати декілька систем водопостачання. Загалом можна виділити такі системи водопостачання:

- 1) виробничі;
- 2) господарсько-питні;
- 3) протипожежні.

Вимоги до якості води господарсько-питного призначення і води, що йде на технічні потреби (технічної води) різні. Тому на більшості промислових підприємств споруджують окремі системи господарсько-питного й протипожежного і окрему систему технічного водопостачання. Протипожежні потреби можна забезпечити водою з виробничого або господарсько-питного водопроводу.

Для підприємств, що є великими споживачами неочищеної води, зазвичай будують самостійний (окремий від міського) виробничий водопровід. Якщо промислове підприємство розташоване на території міста, то виникає питання про можливість об'єднання його водопостачання з міським. Рішення залежить від необхідних витрат води, її якості, напору й низки місцевих умов.

На промислових підприємствах залежно від якості води можна влаштовувати як об'єднані, так і окремі системи господарсько-питного, виробничого та протипожежного водопроводів. Протипожежний водопровід здебільшого об'єднують із господарсько-питним. На підприємствах з підвищеною небезпечністю влаштовують окремі протипожежні водопроводи. У разі потреби в якісній воді (кращій, ніж питна) для якогось цеху можна робити локальні установки поліпшення якості води.

У деяких випадках, наприклад, на підприємствах харчової промисловості, де значна частка води повинна відповідати вимогам ГОСТ 2874-82 «Вода питна», створюють єдину систему водопостачання.

Іноді система виробничого водопостачання значно ускладнюється, коли окремі виробничі споживачі, що входять до складу підприємства, ставлять різні

вимоги до якості води або до напору, під яким вона надходить. Отже доводиться споруджувати декілька систем виробничих водопроводів.

2.2 Використання води в промисловості. Типи водоспоживання

Промислові підприємства витрачають значну кількість води. Воду на підприємствах використовують як у головних виробничих технологічних циклах, пов'язаних з отриманням кінцевої продукції, так і в допоміжних виробничих циклах, безпосередньо не пов'язаних з отриманням кінцевої продукції.

Значні обсяги споживання води в промисловості потребують особливої уваги до питань її економії та раціонального використання, усунення втрат води з витокami та в охолоджувачах зворотної води. Для зворотних систем водопостачання промислових підприємств важливо розрізняти витрати зворотної води, необхідні для виробництва продукції, і витрати «свіжої води», що забирають з джерела водопостачання для поповнення втрат води на виробництві. Для підвищення ефективності роботи системи водного господарства промислових підприємств і захисту навколишнього природного середовища необхідно прагнути до зниження витрат свіжої води і зменшення об'ємів стічних вод, що скидають у водойми.

Вода, яку використовують на промислових підприємствах, може бути різної якості.

Водоспоживання підприємств залежить від низки чинників:

- особливостей використання води;
- об'єму й різновиду продукції, що випускають;
- технології виробництва;
- типу системи промислового водопостачання.

Вода у виробничих процесах може виконувати різні функції. Загалом водоспоживання у виробництві можна класифікувати так: охолодження, промивання, пароутворення, гідротранспорт як складова продукції.

Охолодження. Воду на охолодження використовують для конденсації пари, охолодження печей, машин, агрегатів. Зазвичай, питома вага цих втрат значно перевищує інші витрати води і безперервно зростає. У чорній і кольоровій металургії, в нафтопереробній промисловості на водяне охолодження використовують 95 % води і тільки 5 % на підсобні потреби, в хімічній і коксохімічній відповідно 90 % і 10 %. Наприклад, на теплових електростанціях 85 % загальної витрати води використовують на охолодження, 12 % – на транспортування золи (на станціях, де вугіль використовують як паливо), 3 % – на приготування пари.

Промивання водою сировини або продукції. Велику кількість води витрачають на підсобні потреби (промивання виробів). Наприклад, воду використовують для промивки, замочування та зволоження в целюлозно-паперовій, текстильній, шкіряній промисловості, на фабриках виробництва штучного волокна. Промивання водою сировини або продукції здійснюють,

наприклад, на таких підприємствах, як шкіряні, консервні, овочесушильні, цукрові тощо.

Пару, яку одержують на різноманітному за потужністю та конструкцією паросиловому обладнанні, використовують практично на всіх підприємствах для обігріву приміщень, підігріву різних матеріалів, прогріву продукції, наприклад залізобетонних плит на заводі будівельної індустрії тощо.

Гідротранспорт передбачає транспортування потоком води лотками або жолобами шлаку, золи, сировини тощо. Наприклад, на теплосилових станціях воду використовують для транспортування шлаку і золи, в доменному виробництві для транспортування шлаку, на збагачувальних фабриках для транспортування різних відходів, на цукрових заводах для транспортування цукрових буряків тощо.

Вода в складі продукції. Прикладами можуть бути харчова промисловість, будівельна індустрія. Це стосується виготовлення консервів і продукції на овочесушильних виробництвах, молочних заводах, виготовлення цегли на цегляних заводах тощо.

Залежно від функції, що виконує вода в системах виробничого водозабезпечення, її поділяють на чотири категорії:

1. *Воду I категорії* використовують для охолодження обладнання і продукту в теплообмінних апаратах (без контакту з продуктом). Вода тільки нагрівається і практично не забруднюється, тобто вода виконує функцію теплоносія.
2. *Воду II категорії* використовують як середовище, що поглинає та транспортує домішки, без нагрівання (збагачення корисних копалин, гідро-транспортування). Вода забруднюється механічними й розчинними домішками, але не нагрівається.
3. *Воду III категорії* використовують також як середовище, що поглинає та транспортує механічні й розчинні домішки, з нагріванням (вода також виконує роль теплоносія). У цьому разі вода використовується комплексно. Наприклад, уловлювання та очищення газів, гасіння коксу тощо).
4. *Воду IV категорії* використовують як розчинник реагентів, наприклад флотаційне збагачення руди, вугілля.

2.3 Системи виробничого водопостачання

Існують три основні системи виробничого водопостачання (далі – СВВ): прямоточна система, система з повторним використанням води і зворотна. Існують також комбіновані системи водопостачання.

Ту чи іншу систему СВВ реалізують залежно від таких чинників:

- потужності джерела та його характеристики (поверхневі або підземні води, якість води в них тощо);

- віддаленості джерела води від промислового майданчика;
- вимог споживачів до якості води;
- особливостей забруднення води після її використання;
- кліматичних місцевих умов.

При обґрунтуванні вибору системи виробничого водопостачання промпідприємства необхідно зважати на такі чинники:

1. Раціональність використання води й екологічні фактори, пов'язані з захистом водоймищ від виснаження і забруднення.

2. Технологічні вимоги до якості води й характеристики джерела водопостачання (потужність, віддаленість від промпідприємства, температуру і якість води).

3. Техніко-економічні фактори.

З погляду раціональності використання водних ресурсів доцільно прагнути до мінімального споживання свіжої води, тобто застосуванню зворотних і замкнених систем промислового водопостачання. Однак, це не завжди економічно вигідно. Отже під час проектування здійснюють техніко-економічне порівняння варіантів, на підставі якого обирають варіант з найменшими приведеними витратами.

Найціннішими з екологічного погляду є оборотні системи без скиду продукції – **безстічні** системи. У безстічних (замкнених) системах водопостачання на підприємствах замість свіжої води використовують доочищену, до норм якості технічної води, суміш промислових і побутових стічних вод, що попередньо пройшли біологічне очищення. Біологічно очищені стічні води, використовувані в технічному водопостачанні, повинні відповідати технічним, економічним і санітарно-гігієнічним вимогам. Але і за умов дотримання відповідних норм таку воду не можна використовувати в харчовій, м'ясо-молочній і фармацевтичній промисловостях.

При *прямоточній схемі* (рис. 2.1, а) всю необхідну для підприємства воду забирають безпосередньо з джерела водопостачання. Відпрацьовану воду після використання на промисловому підприємстві скидають у водойму без очищення, якщо вона не забруднена або після очищення.

Така схема досить проста і дешева. Великим недоліком прямоточної системи є значне навантаження на водойму як із погляду відбирання свіжої води на одиницю продукції, так і скидання відпрацьованої води, що зрештою призводить до забруднення та виснаження природних джерел.

Умови застосування прямоточної системи водопостачання:

- достатньо потужне джерело водопостачання, розташоване поблизу промислового підприємства (не більше за 1,5–2 км);
- невелика різниця відміток майданчика підприємства й горизонту води джерела водопостачання (≤ 15 м);
- неможливість чи недоцільність використання скидної води;
- особливі вимоги до температури води, що використовують для виробничих потреб. Наприклад, на теплоелектростанціях більш низька

температура охолоджувальної води забезпечує підвищене вироблення електроенергії.

Прямоточна система водопостачання невживана при хімічному забрудненні відпрацьованої нагрітої води, яку без спеціального очищення неможна скидати у водойму, але за умовами технологічного процесу можна знову використовувати після охолодження.

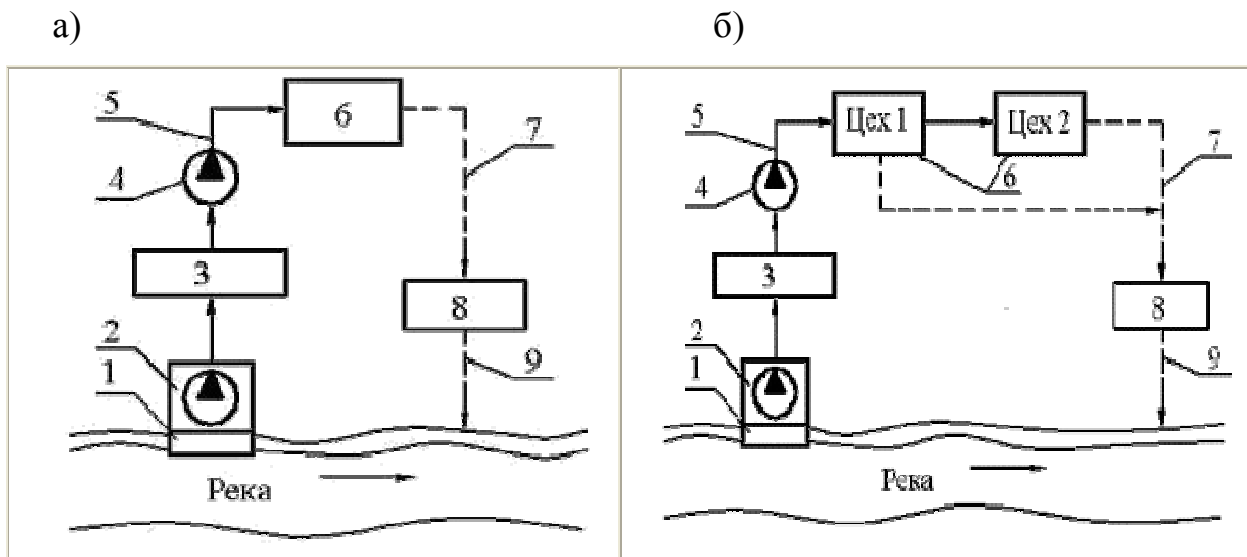


Рисунок 2.1 – Системи виробничого водопостачання:

а – прямоточна; б – із повторним використанням води;

1 – водозабір; 2 – насосна станція I підйому; 3 – водоочисні споруди;
4 – насосна станція II; 5 – подача річкової води; 6 – промислове підприємство;
7 – відведення відпрацьованої води; 8 – станція очищення стічних вод;
9 – скидання води в річку

Система повторного використання становить систему водного господарства, в якій свіжа вода після використання в технологічному циклі на одному з виробництв, бере участь у технологічному процесі іншого виробництва. Для застосування такої системи необхідно, аби якість води після використання на першому підприємстві задовольняла вимогам технологічного процесу другого виробництва. Інакше потрібна її попередня обробка на очисних спорудах або охолоджувачах.

Застосування цієї системи дає змогу скоротити сумарну витрату свіжої води. Її можна розглядати як вдосконалену прямоточну систему, коли джерело водопостачання не може повністю забезпечити необхідну витрату води або далеко розташоване.

Прикладом застосування такої системи може слугувати використання води, для охолодження конденсаторів паротурбінних установок на великих теплоенергетичних об'єктах, оскільки ця вода тільки нагрівається і не забруднюється якимись компонентами. Через це її можуть повторно використовувати інші споживачі, які забруднюють цю воду і не ставлять завищених вимог до температури. Після використання вони скидають свої стічні води після відповідної очистки. Через таке рішення зникає

необхідність подачі води іншому споживачу безпосередньо з джерела. Отже, економиться електроенергія на підймання води на висоту ΔH (на цю висоту вода вже була піднята при наданні її першому споживачу).

Ця система дає змогу зекономити приблизно в два рази кількість свіжої води, що забирають підприємства з водних об'єктів. Крім того, зменшуються розміри і вартість водозабірних споруд, насосної станції першого підйому і водоводів, хоча виникає необхідність у додаткових витратах на спорудження приймального резервуару або охолоджувача і насосної станції II підйому. Однак і ця система не скорочує кількості забруднень, що потрапляють у водні об'єкти.

З метою скорочення забору свіжої води з джерел водопостачання і захисту їх від забруднень широке вживання знаходять *зворотні системи водопостачання*. У зворотній системі воду після використання в технологічному процесі не скидають у систему водовідведення і далі в природні водні об'єкти, а піддають обробці, потім знову повертають на підприємство. За допомогою цього загальна кількість води, що витрачається на одиницю продукції, залишається тією самою, а кількість свіжої води, що забирають із джерела, зменшується в 10–20 разів і становить 5–10 % від кількості оборотної води (в залежності від характеру виробничого процесу). Зазвичай воду, що повторно використовують, необхідно кожен раз охолоджувати, очищати, щоб вона відповідала технологічним вимогам.

У процесі використання вода може як нагріватися, так і забруднюватися. Залежно від цього в схему включають або охолоджувачі, або очисні споруди, або те й інше.

Переваги зворотних систем водопостачання порівняно з прямою:

- менші розміри головних споруд і водоводів;
- менші витрати електроенергії для подачі води від джерела до підприємства;
- менші розміри колекторів скидної води;
- більша надійність (безперебійність) водопостачання, оскільки в цьому разі завжди є деякий запас води на майданчику підприємства.

Недоліки зворотних систем:

- ускладнення в роботі систем;
- необхідність, у багатьох випадках, застосування хімічної обробки води для запобігання корозії, боротьби з відкладеннями й біологічними обростаннями;
- великі безповоротні втрати води.

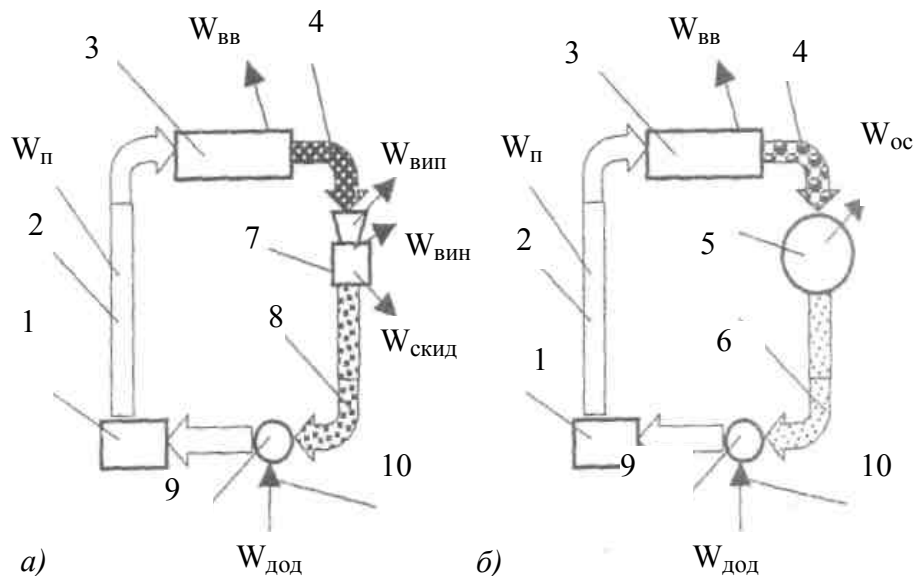


Рисунок 2.2 – Зворотні системи водопостачання

а – зворотна система з охолодженням; б – зворотна система з очищенням води:

1 – насосна станція; 2 – подача чистої води; 3 – підприємство; 4 – відведення відпрацьованої води; 5 – очисні споруди; 6 – відведення очищеної води; 7 – охолоджувач; 8 – подача охолодженої води, 9 – підживлювальний колодязь; 10 – подача підживлювальної води; W_n – кількість води, що подають на виробничий процес; $W_{вв}$ – виробничі витрати води; $W_{ос}$ – кількість води, що втрачається з осадом на водоочисній станції; $W_{скид}$ – кількість води, що скидають у водойму

Зворотне водопостачання можна здійснювати у вигляді єдиної системи для всього промислового підприємства (централізована схема), або у вигляді окремих циклів для єдиного цеху або групи цехів (децентралізована схема).

Втрати води на випаровування $Q_{вип}$ у середньому становлять 2,5 %, краплинне винесення води з вітром $Q_{вин}$ – від 0,3 % до 0,5 % від об'єму зворотної води. Втрати води при очищенні $Q_{оч}$ коливаються в значних межах залежно від способу її очищення. Для запобігання накопиченню солей у зворотній воді частину її, в кількості від 5 % до 10 % скидають у водоймище (продувка або скид $Q_{скид}$).

Окремим варіантом зворотної системи водопостачання є замкнена система виробничого водопостачання, коли скид відпрацьованої води за межі підприємства відсутній. Воду з джерела або іншої системи додають у неї тільки для поповнення втрат. З погляду захисту навколишнього середовища та захисту водоймищ від забруднення стічними водами ця система найпрогресивніша.

У сучасній літературі, при розгляді систем використання води у виробництві, зустрічається багато різних термінів, таких як безстічні системи

водокористування, повністю замкнені, максимально замкнені системи, замкнені системи з мінімальним скидом.

Під *замкненою системою водного господарства* промислового підприємства розуміють систему, в якій воду використовують у виробництві багато разів або без очищення, або після відповідної обробки, що виключає утворення будь-яких відходів і скидання стічних вод у водоймище.

У замкнених системах водопостачання на підприємствах замість свіжої води використовують охолоджену незабруднену або очищену стічну воду. Підживлення замкнених систем свіжою водою допускається у разі, якщо очищених стічних вод недостатньо для компенсації втрат води в цих системах; допускається додавання свіжої води в технологічних операціях, коли очищені стоки не можуть бути використані за умовами технологічного процесу. Свіжу воду витрачають тільки для питних і господарчо-побутових потреб.

Однак при повністю замкненій системі дуже складно забезпечити стабільність води у зворотному циклі. Істотно збільшуються вимоги до якості підживлювальної (свіжої) води. Доводиться застосовувати складніші технологічні схеми очищення як свіжої, так і оборотної води на локальних очисних спорудах, ускладнюється експлуатація всієї системи водного господарства промислового підприємства, збільшуються безповоротні втрати води. Однією з головних причин, що перешкоджають повному використанню забруднених або нагрітих стічних вод у обороті є утворення щільних сольових відкладень по тракту руху води – в одних випадках і корозійні процеси – в інших. Дуже часто ці обидва процеси протікають одночасно і нерозривно пов'язані.

2.4 Вимоги споживачів до якості води

Головними показниками, що визначають придатність води для різних категорій споживачів води, є склад і концентрація домішок, що містяться в ній. За специфікою вимог до якості очищеної води розрізняють воду, що використовують для господарсько-питних потреб робочих і службовців промислових підприємств, для охолодження елементів технологічних агрегатів, підживлення парових котлів, технологічних потреб промисловості тощо.

Якість і властивості води для виробничих потреб, встановлюють у кожному конкретному випадку залежно від функції води та вимог технологічного процесу виробництва з урахуванням сировини, що використовують.

Загальними є такі вимоги до якості та властивостей технічної води:

- 1) вода не повинна бути шкідливою для здоров'я обслуговуючого персоналу;
- 2) не повинна погіршувати якість продукції;
- 3) не повинна спричиняти корозії;
- 4) не повинна давати карбонатних та інших сольових відкладень і не сприяти біологічному обростанню;

5) не повинна погіршувати техніко-економічні показники виробничого процесу.

Вода для охолодження. У промисловості найбільшу кількість води використовують для охолодження технологічного обладнання, пари, рідких і газоподібних продуктів, конденсаторів парових турбін, металургійних печей. При цьому застосовують прямоточні й зворотні системи водопостачання.

Головні вимоги до якості охолоджувальної води зводяться до забезпечення вискоєфективної роботи теплообмінного обладнання. При цьому на поверхні охолоджувальних елементів не повинно відбуватися корозійних процесів і утворення сольових механічних або біологічних відкладень. Інакше будуть порушені умови теплопередачі, збільшаться енергетичні витрати, погіршаться експлуатаційні характеристики системи та буде відбуватися руйнування конструкційних матеріалів.

Для запобігання утворенню накипу у зворотних системах при нагріві води нормують як карбонатну тимчасову жорсткість, так і не карбонатну жорсткість. Присутність у воді солей марганцю й заліза, а також біогенних елементів азоту й фосфору може сприяти розвитку біологічних обростань апаратів і труб (зменшенню живого перерізу і внаслідок цього збільшенню втрат напору).

В охолоджувальній воді нормують рН (6,5–8,5), обмежують вміст сульфатів і хлоридів, при підвищеному вмісті яких вода становиться агресивною стосовно до бетону. Окремі вимоги такі – карбонатна жорсткість повинна бути не більшою ніж 5 мг-екв/л, вміст завислих речовин допустимий для коробчастих конденсаторів – 30–50 мг/л, трубчастих – 100 мг/л, вміст сірководню – 0,5 мг/л, заліза – 0,1 мг/л.

Особливе значення в охолоджувальній воді мають розчинені гази й кисень, вуглекислота, сірководень, метан. Вуглекислота, кисень, сірководень за певних умов надають воді корозійні властивості стосовно металу і бетону. Присутність у воді вуглекислоти істотно впливає на її якість.

За концентрацією агресивної вуглекислоти (це різниця між вільною та рівноважною вуглекислотою) можна судити про агресивність або стабільність води. У поверхневих водах наявність вуглекислоти виключена, а в підземних може бути значною. Наявність у воді сірководню та кисню інтенсифікує процес корозії металів.

Вода для технологічних цілей промисловості. Вимоги до води, що використовують для технологічних процесів, відрізняються значним різноманіттям обумовленим специфікою виробництва. Загалом вони нижчі за вимоги ГОСТ 2874-83 «Вода питна» і таку воду називають технічною. Однак для низки виробництв за деякими показниками ці вимоги можуть бути значно вищі, оскільки для багатьох галузей промисловості винятково важливе значення має додержання вимог щодо вмісту у воді різних речовин. Наприклад, лімітують жорсткість води під час її використання на підприємствах паперової і

текстильної промисловості, виробництві штучних волокон. Вміст заліза й марганцю строго обмежують у воді, що використовують при виробництві пластмас, кіноплівки й фотопаперу. В харчовій і текстильній промисловостях обмежують окисність води і вміст хлоридів. У воді, що використовують для приготування розчинів кислот, луг, барвників, мила жорсткість води не повинна перевищувати 0,35 мг-екв/л. Вода, яку використовують з промивною метою, не повинна містити речовин, які негативно впливають на матеріал, що промивається. Специфічні вимоги ставлять до води, що входить до складу продукції.

Для низки виробництв, у гірничодобувній промисловості при збагаченні корисних копалин, у воді для гідротранспорту, обмиванні й сортуванні сировини повинні бути відсутні грубодисперсні домішки.

Вимоги до якості охолоджувальної води у процесі її комплексного використання як середовища, що поглинає і транспортує забруднення під час безпосереднього зіткнення з продуктом (пиловловлення й очищення газів, гасіння коксу тощо) визначаються властивостями, видом, складом цього продукту, а також умовами використання води.

Температура води повинна бути $\leq 25-30$ °С, вміст завислих речовин $\leq 150-200$ мг/л, запах до 4 балів, рН 7,2–8,5, поверхнево-активних речовин ≤ 15 мг/л.

Вода для паросилового господарства. До води, яку використовують у теплоенергетичних процесах ставлять жорсткіші вимоги порівняно з водою, що використовують для охолодження. Вода повинна бути звільнена від завислих речовин, солей жорсткості й розчиненого кисню. Для котлів високого тиску її повністю звільнюють від кремeneвої кислоти та знесолюють.

Теплові електростанції з котлами високого й надвисокого тиску, на відміну від інших технічних споживачів води, є дуже вимогливими до її якості. Отримання водяної пари при високій температурі забезпечується в парових котлах різної продуктивності й різних параметрів (передусім, тиску) за умов, коли окремі домішки живильної води, присутні навіть у самих незначних кількостях, можуть призвести до аварійного стану котельних агрегатів і тривалого виходу їх із ладу.

У процесі використання води для потреб паросилового господарства вона не повинна утворювати накип, спричиняти корозію металу, спінюватися, призводити до забруднення пари і відкладення різних домішок на лопатках турбін. Норми якості живильної води для сучасних парових котлів залежать від їхнього типу й тиску в цих котлах.

Використання жорсткої води призводить до утворення відкладень накипу на поверхні нагріву котлів, погіршує теплопередачу, спричиняє перегрів і прогар металу деталей у місцях утворення накипу, сприяє перевитраті палива, скорочує термін служби обладнання і призводить до аварій різної тяжкості.

Найбільшу небезпеку становлять солі, розчинність яких зменшується з підвищенням температури: карбонат кальцію, сульфат кальцію, силікати магнію і кальцію. Присутність у воді інших солей, наприклад, хлоридів, сульфатів, сульфату натрію, що створюють пухкі відкладення, при достатньо великих концентраціях їх у воді, знижує розчинність солей кальцію і магнію, сприяє утворенню накипу.

Отже, вода для живлення парових котлів проходить спеціальну обробку для надання їй складу та властивостей таких, що відповідають вимогам. Поповнення втрат живильної води на ТЕС здійснюють хімічно знесоленою водою або дистиллятом.

Питання для самоперевірки:

1. Які споруди входять до складу систем промислового водопостачання?
2. Як класифікують системи виробничого водопостачання?
3. Поясніть схеми зворотного водопостачання з очисткою і охолодженням води. Наведіть приклади.
4. Як класифікують споживачів води?
5. Які вимоги ставлять різні категорії споживачів до використовуваної води?
6. Від яких параметрів залежить вибір схеми виробничого водопостачання?
7. Критерії використання води у виробництві.

ТЕМА 3 ЗВОРОТНІ ТА БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Раціональні схеми використання води на промислових підприємствах. Критерії ефективності використання води промисловими підприємствами.
2. Основні принципи створення зворотних та повністю замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств.
3. Втрати води у зворотних системах. Водний і сольовий баланси зворотних систем.
4. Поняття коефіцієнта концентрування солей або коефіцієнта випаровування. Визначення K_k на підставі водного балансу системи.
5. Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи. Рівняння водно-сольового балансу.

3.1 Раціональні схеми використання води на промислових підприємствах. Критерії ефективності використання води промисловими підприємствами

Різноманіття промислових виробництв зумовлює структуру водозберігальних заходів, спрямованих на зменшення питомої витрати води і споживання свіжої води. Насамперед під час розроблення раціональних систем

і схем водозабезпечення промислових підприємств прагнуть застосовувати маловодні технології виробництва.

Зменшити споживання води з природних джерел можна також шляхом багаторазового їх використання в промисловості та утилізації стічних вод. У разі повторного використання стічних вод вимоги до їхньої якості визначають потрібний ступінь очищення. Під час вирішення питання доцільності створення систем водопостачання промислових підприємств з багаторазовим використанням води в технологічних процесах велике значення має встановлення закономірностей формування її складу і властивостей. Можливість прогнозування складу води дасть змогу визначити умови її використання та розробити комплекс керування системою багаторазового використання води в технологічних процесах.



Рисунок 3.1 – Структура водозберігальних заходів

Заміна водяного охолодження повітряним, застосування систем і споруд сухого очищення газів, застосування випарного охолодження, протитечійно-каскадних систем промивання, пневматичних і пневмогідравлічних систем транспортування дають змогу зменшити питоме водоспоживання в середньому на 20–30 %. Застосування систем автоматичного керування і контролю процесами водоспоживання, укрупнення одиничних потужностей агрегатів, боротьба з втратами й витіканнями скорочують витрати води ще на 10–15 %.

Наявність зворотних систем водного господарства є одним з найважливіших показників технічного рівня промислових підприємств. Упровадження систем зворотного водопостачання дає змогу значно зменшити кількість стічних вод, що скидаються та скоротити споживання свіжої води, що дає значний економічний і екологічний ефект.

Найціннішими з екологічного погляду є зворотні системи без скидання стічних вод із продувкою – *безстічні* системи. У безстічних (замкнених) системах водопостачання на підприємствах замість свіжої води використовують доочищену до нормативів якості технічної води суміш промислових і побутових стічних вод, що попередньо пройшли біологічне очищення. Біологічно очищені стічні води, що використовують у технічному водопостачанні, повинні відповідати технічним, економічним і санітарно-гігієнічним вимогам.

Замкнені системи водоспоживання (далі – ЗСВ) сьогодні – єдине раціональне вирішення проблеми використання води в промисловості.

Вирішенням питань раціонального використання води, очищення й підготовки води до повторного використання впродовж багатьох років займається Український Державний науково-технічний центр «Енергосталь» (УкрНТЦ «Енергосталь»).

У процесі розроблення технічних завдань зі створення ефективно функціонуючих зворотних циклів водопостачання необхідно враховувати такі принципові питання:

- прогнозування складу води й можливості утворення щільних сольових відкладень;
- мінімізація витрати підживлюючої води;
- раціональне поєднання локальних і зворотних циклів з загальною зворотною системою підприємства;
- застосування нових розробок ефективних очисних споруд і апаратів для очищення води;
- використання сучасних методів стабілізаційної обробки води;
- спеціальна підготовка води для підживлення зворотних систем.

Основою створення раціональної схеми водокористування підприємства є його водний баланс, складений на підставі обліку водоспоживання і водовідведення. Ретельний аналіз водного балансу дозволяє визначити місце й причини втрат води, скоротити загальне споживання і скид води в середньому на 30 % тільки шляхом проведення внутрішніх заходів і використання адміністративного ресурсу, не вдаючись до кардинальних заходів і повної реконструкції системи.

Ефективність використання води на виробництві може бути оцінена наступними показниками:

1. Технічну досконалість системи водопостачання оцінюють долею води, що використовують у обороті, %

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{дж} + Q_{сир}} \cdot 100 \%. \quad (3.1)$$

2. Раціональність використання води, що забирають з природного водного джерела, оцінюють коефіцієнтом використання

$$K_{ВИК} = \frac{Q_{дж} + Q_{сир} - Q_{скид}}{Q_{дж} + Q_{сир}} \leq 1. \quad (3.2)$$

3. Безповоротне споживання і втрати води

$$P_{сп} = \frac{Q_{дж} + Q_{сир} - Q_{скид}}{Q_{дж} + Q_{сир} + Q_{посл} + Q_{об}}. \quad (3.3)$$

У цих формулах $Q_{дж.}$ і $Q_{сир.}$ – кількість води, що забирають із джерела і спрямовують у систему водопостачання з сировиною та іншими матеріалами;

$Q_{скид}$ – кількість стічних вод, що скидають у водойму;

$Q_{посл.}$ та $Q_{об}$ – кількість води, що використовують послідовно і в обороті.

Оцінку систем водного господарства однотипних цехів і підприємств загалом потрібно проводити шляхом порівняння питомої витрати води на одиницю продукції, питомої витрати реагентів і електроенергії на очищення стічних вод, кількості відходів, що утворюються, кількості отриманого зі стічних вод товарного продукту, економічних показників і річного економічного ефекту.

3.2 Основні принципи створення зворотних і повністю замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств

Перехід від частково зворотних систем до повністю замкнених зворотних систем пов'язаний не тільки з додатковими капітальними витратами на будівництво відповідних очисних споруд, але і з вирішенням двох головних завдань: усуненням мінералізації і покриттям втрат оборотної води. Повністю замкнена система водозабезпечення передбачає постійний кількісний і якісний склад води, запобігання корозії устаткування, забруднення системи як мінеральними, так і біологічними відкладами, відсутність скидання забруднених вод у водоймища, ліквідацію скидів іншими способами.

Створення економічно обґрунтованих замкнених систем водного господарства є досить важким завданням. Складний фізико-хімічний склад стічних вод, різноманітність хімічних сполук, які в них містяться роблять неможливим підбір універсальної структури повністю замкнених (безстічних) схем, придатної для застосування в різних галузях народного господарства.

Розроблення замкнених систем водного господарства промислових підприємств краще здійснювати поетапно, з поступовим збільшення частки води, що використовують в обороті. Найважливішими питанням у процесі створення замкнених зворотних систем є розробка науково-обґрунтованих вимог до якості води, що використовують у всіх технологічних процесах і операціях.

Під час створення замкнених зворотних систем водопідготовку та очищення стічних вод потрібно розглядати як єдину систему. Проектування замкнених систем проводити одночасно з проектуванням головного виробництва.

Переведення на замкнений режим роботи може бути здійсненим тільки на підприємстві з достатньо розвиненим зворотним водопостачанням.

Максимальне залучення води у зворот досягається шляхом таких додаткових інженерних рішень:

- значним скороченням об'єму стічних вод, що скидають із продувкою зворотних систем шляхом водопідготовки підживлювальної води й стабілізаційної обробки зворотної води;
- послідовно-повторним застосуванням води при використанні частини або всієї води з системи з високими вимогами до якості води в системі з нижчими вимогами;
- глибоким доочищенням забруднених стічних вод у кінці ланцюга з метою повторного використання з поверненням їх у початок ланцюга;
- очищенням і використанням поверхневого стоку з території підприємства у системі зворотного водопостачання.

Науково-технічне завдання створення безстічних систем виробничого водопостачання може бути сформульоване як доведення підживлювальної зворотної води і стічних вод до показників, що дають змогу використовувати їх багато разів без скидання у водні об'єкти.

Оскільки в процесі роботи замкнених систем водопостачання спостерігається зростання солемісту у воді, істотного значення набуває кратність використання такої води в циркуляційній системі і технологічних процесах.

При підвищенні солемісту у воді зворотного циклу збільшується небезпека виникнення сольових відкладень і корозії у трубопроводах.

Один із методів зниження імовірності утворення сольових відкладень у комунікаціях і теплообмінниках – це перехід на підживлення зм'якшеною водою зворотних систем водопостачання.

Кондиціонування підживлювальної води натрій-катіонуванням дає змогу повністю виключити відкладення солей жорсткості в широкому діапазоні температур.

У разі заповнення зворотної системи зм'якшеною водою з'являється можливість припинити скидання вод з продувкою або зробити цей скид періодичним залежно від прийнятого регламенту по загальному солемісту для певної зворотної системи.

Для характеристики замкнених систем застосовують такі критерії кратності використання води:

$$n = \frac{Q_{исх}}{Q_{заб}}, \quad (3.4)$$

де n – критерій кратності;

$Q_{исх}$ – загальний об'єм води, що використовують на підприємстві (м³/год);

$Q_{заб}$ – витрата свіжої води (м³/год).

Чим більше кратність використання води, тим досконалішою є схема водопостачання.

Отже, створення зворотних й замкнених систем водного господарства промислових підприємств базується на таких принципах:

1. Водопостачання і каналізація повинні розглядатися в єдиному комплексі, коли на підприємстві створюється єдина система водного господарства, що включає водопостачання, водовідведення та очищення стічних вод, як підготовку для повторного використання. При цьому необхідно

встановити науково обґрунтовані вимоги до якості споживаної у виробництві води й води, що відводиться.

2. Використовувати для водопостачання замість свіжої води очищені виробничі й міські стічні води, а також поверхневий стік. Свіжу воду з джерел використовувати для особливих цілей та поповнення втрат.

3. Забезпечувати очищення стічних вод і регенерацію відпрацьованих технологічних розчинів із метою їх повторного використання у виробництві. Створення замкнених систем водозабезпечення повинне поєднуватися з організацією маловідходного виробництва, технологія якого орієнтована на максимальне витягання з сировини основних продуктів з одночасною регенерацією цінних компонентів і доведенням відходів, що утворюються, до товарного продукту або вторинної сировини при мінімальних матеріальних і енергетичних витратах.

У процесі розроблення зворотних систем охолодження насамперед необхідно розглядати технічну й економічну доцільність використання повітряного охолодження замість водяного, головна перевага якого перед охолодженням на градирнях, бризкальних басейнах і водосховищах-охолоджувачах полягає у відсутності втрат води на випаровування і віднесення вітром.

При охолодженні апаратів, конструкцій, що працюють в зонах високих температур, найбільш економічним є використання установок випарного охолодження. Вони дають змогу отримувати водяну пару для енергетичних і технічних цілей і різко понизити витрату води на охолодження.

Питання для самоперевірки

1. Якими факторами обумовлюється необхідність і доцільність створення замкнених систем виробничого водопостачання?

2. На яких принципах базується створення зворотних і повністю замкнених систем водопостачання?

3.3 Втрати води у зворотних циклах водопостачання.

Водний і сольовий баланси зворотних систем

У відкритих системах зворотного водопостачання відбуваються втрати води шляхом випаровування в охолоджувачах частини води і винесення дрібних крапель води повітрям. Унаслідок випаровування в середньому втрачається десь 0,15 % води, що охолоджується при зниженні її температури на 1°C, виноситься повітрям в градирнях 0,2–0,3 % води.

Для поповнення безповоротних втрат води й підтримки постійного складу води, в систему зворотного водопостачання постійно надходить деяка кількість свіжої, так званої підживлювальної води, обробленої у тому чи іншому ступені.

Крім того, зазвичай зворотна вода освіжається продувкою, що сприяє зниженню загального солевмісту і концентрації окремих іонів. Унаслідок

впливу всіх цих факторів досягається свого роду рівновага, за якої концентрації, що встановилися залежать від співвідношення між кількістю води, що надходить до системи й видаляється з неї, і кількістю розчинених речовин.

Отже, *продувка* – це освіження зворотної води шляхом скиду частини води, що призводить до зниження рівня забруднень води, що циркулює в системі. Втрати води з продувкою системи залежить від продуктивності системи зворотного водопостачання, карбонатної жорсткості води, що додається до системи і способу її обробки. Для сучасних систем зворотного водопостачання втрати води з продувкою становлять 1–3 % від витрати води, що циркулює у системі.

Однак такий скид і додавання води доцільні у разі, коли карбонатна жорсткість (або загальний солевміст) води, що додається до системи, менше за карбонатну жорсткість (солевміст) зворотної води.

Співвідношення величин втрат води під час її використання й охолодження (випаровування, краплинне винесення вітром, втрати у виробництві, з осадом, що видаляється з очисних споруд, втрати з продувкою системи) характеризує водний режим зворотного циклу водопостачання.

Для будь-якої системи водопостачання повинен дотримуватись баланс води, що надходить до системи і втраченої в системі води:

$$\sum Q_{\text{НАДХ}} = \sum Q_{\text{ВТР}} \quad (3.5)$$

Під час проектування систем промислового водопостачання складають водний баланс, який показує витрати води для всіх категорій споживачів і втрати води в системах. Споживачів води згруповують за районами їх розташування, напором, якістю води. Потім складають схему використання води, де вказують витрати води, що надходять до споживачів та відводяться від них.

При проектуванні водний баланс необхідний для розрахунків споруд водопостачання, визначення потужності обладнання, розмірів головних споруд (насосних станцій, водоводів, охолоджувачів води, очисних споруд тощо).

Принципи складання водного балансу:

1. Кількість води у зворотній системі підтримують постійною. Втрати води в системі компенсуються шляхом додавання свіжої води.
2. Встановлюють джерела надходження і втрати води.
3. Визначають кількісні характеристики кожного джерела.
4. Аналізують якісні характеристики води джерел, їх можливий вплив на склад і властивості зворотної води, ефективність роботи системи водопостачання.
5. Визначаються групи споживачів, що потребують воду однакової якості.
6. Для зменшення кількості свіжої води, що забирають із джерела, виявляють можливість послідовного використання відпрацьованої води однієї групи споживачів для водопостачання іншій.

Окрім водного балансу систем водопостачання надзвичайно важливе значення має підтримання балансу за якістю, термостабільністю, корозійністю зворотних вод.

3.4 Поняття коефіцієнта концентрування добре розчинних солей (K_K) або коефіцієнта упарювання. Визначення K_K на підставі водного балансу системи

Під час використання й охолодженні води у системах зворотного водопостачання частина її втрачається на випаровування, краплинне винесення, у виробництві, з осадом, що видалається з очисних споруд, зі скидом води з системи (продувкою).

Вважають, що розчинені солі води, які випарилися (повністю або частково) залишаються у зворотній воді й підвищують їхню концентрацію. Усі втрати води в системі оборотного водопостачання компенсуються додаванням свіжої води.

Ступінь підвищення концентрації розчинених у воді речовин називають коефіцієнтом концентрування солей або коефіцієнтом упарювання. Чисельне значення цього коефіцієнта може бути виражено за випаровуванням води як

$$K_y = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4} = \frac{P_d}{P_d - P_1}, \quad (3.6)$$

де P_1 – втрати води, що відбуваються в системі внаслідок випаровування;

P_2 – втрати води на краплинне винесення при охолодженні води;

P_3 – продувка системи;

P_4 – втрати води з системи, що відбуваються з інших причин (втрати води зі зневодненим шламом, втрати води при аваріях, переливи внаслідок порушення режиму водопостачання тощо).

Усі величини втрат визначають у відсотках від витрати циркулюючої в системі води.

Рівняння (3.6) можна представити в спрощеному вигляді:

$$K_y = 1 + \frac{P_1}{P_2 + P_3 + P_4}. \quad (3.7)$$

Отже в системах зворотного водопостачання величина K_K завжди більше 1 і ця величина тим більше, чим менше величини P_2 , P_3 і P_4 .

Коефіцієнт випаровування добре розчинних солей характеризує ступінь замкненості системи зворотного водопостачання. Величина K_K , як правило, не перевищує 2-4. У деяких випадках, наприклад, у хімічній промисловості, цей коефіцієнт досягає 8.

Якщо припустити, що продувка в системі відсутня, тобто $P_3 = 0$, тоді маємо:

$$K_K = 1 + \frac{P_1}{P_2} = 1 + \frac{1,5}{0,5} = 4.$$

3.5 Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи. Рівняння водно-сольового балансу

Коефіцієнт концентрування добре розчинних солей необхідний для визначення концентрації добре розчинних солей у зворотній воді залежно від вмісту цих солей у підживлювальній (свіжій) воді.

$$C_{зв} = K_k \cdot C_n \quad (3.8)$$

$$K_k = \frac{C_{зв}}{C_n}, \quad (3.9)$$

де $C_{об}$ – концентрація добре розчинних солей у зворотній воді;

C_n – концентрація добре розчинних солей у свіжій воді, що додається до системи.

Чим вище концентрація солей у зворотній воді, тим складнішою виявляється експлуатація системи у зв'язку з небезпечністю утворення щільних сольових відкладень карбонатного і сульфатного характеру, а також із небезпечністю інтенсифікації корозійних процесів.

Стабілізація сольового складу відбувається за умови, якщо кількість солей, що виводяться з системи з продувкою та внаслідок винесення крапель води з охолоджувача, дорівнюватиме кількості солей, що надходять із підживлювальною водою.

Солі, що надходять до системи водопостачання розділяють на дві основні групи:

1. Солі, що добре розчиняються у воді й не випадають в осад ні за яких умов роботи системи (хлориди калію, натрію, кальцію і магнію, сульфати).
2. Солі, що внаслідок недостатньої розчинності у разі порушення вуглекислотної рівноваги випадають в осад.

Зазвичай для контролю складу води у системах зворотного водопостачання використовують коефіцієнт концентрування хлоридного іона

$$K_{Cl} = \frac{Cl_{зв}^-}{Cl_n^-}, \text{ величину якого порівнюють із коефіцієнтами концентрування}$$

карбонатної жорсткості $K_{ж.к} = \frac{Ж_{к.зв}}{Ж_{к.н}}$, кальцію $K_{Ca} = \frac{Ca_{зв}^{2+}}{Ca_n^{2+}}$ чи інших іонів.

Порівнюючи величину коефіцієнтів концентрування хлоридного іона, карбонатної жорсткості або інших речовин, отримані по воді та обчислені за даними аналітичного визначення, можна отримати уявлення про надходження нових речовин та випадіння їх в осад (відкладання), тобто про термостабільність води.

Рівняння водно-сольового балансу систем

$$\frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4} = \frac{C_{зв}}{C_n}. \quad (3.10)$$

Співвідношення (3.10) характеризує зв'язок водного і сольового балансів системи зворотного водопостачання.

Для систем водопостачання, в яких вода не входить у безпосередній контакт з охолоджувальним продуктом (пара, повітря, нагрітий або розплавлений метал), рівняння водно-солевого балансу має такий вигляд:

$$C_{зв}(P_2 + P_3) = C_n(P_1 + P_2 + P_3) \quad (3.11)$$

$$C_{зв} = C_n \left[1 + \frac{P_1}{(P_2 + P_3)} \right] \quad (3.12)$$

Якщо концентрацію солей жорсткості в циркуляційній воді прийняти максимально допустимою, то з наведеного рівняння (3.12) можна визначити мінімально необхідну витрату продукції:

$$P_3 = \frac{C_n \cdot P_1}{C_{зв} - C_n} - P_2, \quad (3.13)$$

де C_n – концентрація солей жорсткості у воді, що додають до системи (підживлювальній воді), мг-екв/л;

$C_{зв}$ – максимально допустима концентрація солей жорсткості в циркуляційній (зворотній) воді, мг-екв/л;

P_1 , P_2 і P_3 – втрати води внаслідок випаровування, винесення вітром і з продукцією системи, м³/год;

Загальна витрата підживлювальної води

$$P = P_1 + P_2 + P_3. \quad (3.14)$$

Однак рівняння (3.10) неприйнятно для балансових розрахунків стосовно системи зворотного водопостачання, в яких вода входить у контакт із продуктом, що охолоджується та очищається, наприклад, газоочисток металургійних агрегатів. Для таких випадків необхідно користуватися іншою залежністю, яка враховує збільшення концентрації того або іншого компонента:

$$C_{зв} = C_n \left[1 + \frac{P_1}{(P_2 + P_3)} \right] + \frac{Q \cdot \Delta C}{P_1 + P_3}, \quad (3.15)$$

де $\Delta C = C_{зв} - C_n$ – збільшення солевмісту зворотної води внаслідок випаровування, мг/л;

Q – загальна витрата води, що подається споживачу, наприклад на газоочистку металургійного агрегату, м³/год.

За умов стабільності зворотної води (відсутності інкрустації поверхонь відкладаннями CaCO₃, Mg(OH)₂ або зміни складу води за допомогою продуктів корозії труб і теплообмінної апаратури) зберігається рівність коефіцієнтів випаровування, які визначаються за поступовим підвищенням у зворотній воді концентрацій різних іонів – хлоридів, сульфатів тощо.

$$K_{вин} = \frac{[Cl^-]_{зв}}{[Cl^-]_n} = \frac{[SO_4^{2-}]_{зв}}{[SO_4^{2-}]_n} = \dots = \frac{C_{зв}}{C_n} = \frac{C_n + \Delta C}{C_n} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} \quad (3.16)$$

де P_1 , P_2 , P_3 – втрати води на випаровування, винесення крапель води повітрям і стабілізаційна витрата;

$C_{зв}$ – солевміст зворотної води, мг/л;

C_n – солевміст підживлювальної води, мг/л;

$\Delta C = C_{зв} - C_n$ – збільшення солемісту зворотної води внаслідок випаровування.

Водно-хімічний режим оборотних систем

Режим роботи зворотних систем дуже відрізняється від прямоточних систем. Вода багаторазово підігрівається, охолоджується, випаровується, розбризкується та виноситься потоком повітря. Крім того, вода змінює свій хімічний склад унаслідок випаровування й підживлення свіжою водою.

Основними параметрами водно-хімічного режиму зворотного циклу є продувка, добавка свіжої води до системи і коефіцієнт випаровування або коефіцієнт концентрування добре розчинних солей.

Продувка системи ефективна тільки в тому разі, якщо карбонатна жорсткість підживлювальної води значно нижче за карбонатну жорсткість води у системі. Інакше необхідна настільки велика витрата підживлювальної води, що додавання її буде просто неекономічним, тому вигідніше буде застосовувати хімічну обробку води.

Головна вимога до водно-хімічного режиму систем зворотного водопостачання полягає в тому, що у системі повинні бути відсутні карбонатні відкладення і корозія обладнання та трубопроводів.

У системах водяного охолодження теплонавантажених елементів утворюються переважно відкладання карбонату кальцію при втраті вільної вуглекислоти через нагрівання води. При цьому відбувається розкладання бікарбонатних іонів HCO_3^{3-} з утворенням карбонатних CO_3^{2-} , що реагують з іонами Ca^{2+} і створюють малорозчинні з'єднання CaCO_3 , що осаджуються на стінках трубопроводів:



Якщо таке розкладання у системі відсутнє, то має місце співвідношення

$$L_{зв} = K_K L_n \quad (3.17)$$

де $L_{зв}$, L_n – лужність відповідно зворотної та підживлювальної води, мг-екв/л.

За умов співвідношення $L_{зв} > K_K L_n$ в систему додаються або поступають лужні речовини. Співвідношення $L_{зв} < K_K L_n$ свідчить про те, що в системі відбуваються розпад $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і утворення відкладень у кількості

$$\Delta L = K_K L_n - L_{зв}. \quad (3.18)$$

Питання для самоперевірки

1. Назвіть безповоротні втрати води у відкритих системах зворотного водопостачання.
2. Які труднощі виникають у зворотних системах у разі зменшення продувки? Що являє собою продувка і з якою метою її здійснюють?
3. Що характеризує коефіцієнт концентрування добре розчинних солей і чому дорівнює його величина?
4. Наведіть рівняння водно-сольового балансу систем зворотного водопостачання

5. Наведіть вираз для визначення коефіцієнта концентрування добре розчинних солей через водний баланс.

6. За якої умови в системах зворотного водопостачання буде спостерігатися стабілізація сольового складу?

7. Наведіть рівняння водно-сольового балансу, що застосовують для розрахунків зворотних систем газоочисток металургійних печей.

ТЕМА 4. ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

1. Класифікація систем охолодження
2. Система водяного охолодження, принцип і схеми;
3. Випарне охолодження, принцип і схеми.
4. Техніко-економічні показники систем охолодження

4.1 Класифікація систем охолодження

На промислових підприємствах найбільшу кількість води витрачають для охолодження. Охолодження водою здійснюють з метою підтримки необхідної для нормальних умов технологічного процесу температури; для зниження температури продукції до необхідних меж і запобігання від прогару і перегріву, при яких можлива втрата міцності елементів конструкцій, деталей обладнання металургійних агрегатів.

Процес охолодження – це відведення теплоти від стінки, що обігрівається та утримання її температури в заданих межах. Температура визначається технологічним процесом і стійкістю матеріалу охолоджувального елемента. Наприклад, у теплоенергетиці, оптимальна температура охолоджувальної води становить $t_{\text{опт}} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, гранична температура $t_{\text{гран.}} = 30\text{--}33\text{ }^{\circ}\text{C}$

Гранична температура для різних матеріалів, наприклад для сталі $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура при якій втрачається стійкість сталі $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, для чавуну відповідно $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Системи охолодження існують такі:

- 1) водяне охолодження холодною водою;
- 2) водяне охолодження гарячою водою;
- 3) випарне охолодження з пароутворенням у середині та поза конструкцією, що охолоджується.
- 4) охолодження високо киплячим теплоносієм

При водяному охолодженні відведення теплоти від охолоджуваних елементів здійснюється холодною проточною водою. При цьому витрата води повинна забезпечити, якщо можна, безнакипний режим. Однак ця умова важко здійснима, оскільки технічна вода містить накипоутворювальні солі, які при нагріві води випадають на стінках деталей, перешкоджаючи відведенню від них тепла.

Кожна з названих систем має свої переваги й недоліки стосовно забезпечення якості охолодження, а також їх економічності та ефективності.

Усе більшого поширення набуває система випарного охолодження металургійних печей (доменних, мартенівських, електроплавильних, нагрівальних печей і вагранок), розроблена доктором технічних наук, професором С. М. Андон'євим.

При випарному охолодженні тепло від нагрітих елементів печі відводиться водою, яка нагрівається до утворення пароводяної емульсії. При цьому використовується скрита теплота пароутворення, тобто тепло, що відбирається охолоджувальною водою, витрачається на її випаровування.

4.2 Система водяного охолодження. Принцип і схеми

Водяне охолодження холодною водою. Систему водяного охолодження застосовують там, де температура води визначає технологічний процес. Сутність системи водяного охолодження полягає у тому, що холодна вода надходить до охолоджуваного елемента і відводить від його стінки тепло, нагріваючись при цьому на 25 °С без зміни агрегатного стану. Охолодження відбувається тільки за допомогою конвективного теплообміну, тобто руху потоку води.

На перший погляд, ця система надзвичайно проста в експлуатації, однак незначний нагрів води призводить до різкого збільшення її витрати. При цьому необхідно значне збільшення комунікацій, обладнання і споруд, що збільшує капіталовкладення й експлуатаційні витрати. Подача великої витрати води ускладнює її обробку та призводить до випадіння на стінках охолоджуваних елементів відкладень, які погіршують охолодження.

Незначний ступінь нагріву води при водяному охолодженні робить практично неможливим використання тепла, що відводиться з водою.

Отже, система проста, але вона не дає змогу використовувати тепло, а підвищення перепаду температури може привести до відкладення солей жорсткості. Витрати води залежать від кількості тепла, що відводиться, величини температурного перепаду та якості води.

Система водяного охолодження може бути прямоточна або зворотна.

За прямоточною схемою водяного охолодження природну воду подають споживачу після очищення для покращення якості (забезпечення стабільності), якщо необхідно, і після використання (нагріву на декілька градусів) скидають у водойму. Таку схему застосовують за наявності потужного джерела, коли температура нагріву після розбавлення у водному джерелі не підвищується більше ніж на 1 °С і відсутні будь-які побічні забруднення, що надходять у систему охолодження.

Нині, особливо у зв'язку з комплексним підходом до використання водних ресурсів на підприємствах, цю схему застосовують все рідше, оскільки не забезпечує захист водоймищ від забруднень.

Сутність зворотної схеми водяного охолодження полягає у тому, що з джерела забирається свіжа вода тільки для покриття безповоротного споживання і втрат, які у разі необхідності перед подачею споживачу

проходять очищення. Уся основна вода циркулює безперервно між споживачем, охолоджувачем і очисними спорудами.

Зворотна схема є основною схемою сучасного водяного охолодження. Її застосовують у тих випадках, коли можливо термальне забруднення джерела і коли вирішуються загальна схема комплексного водного господарства підприємства – створюються локальні оборотні цикли з поступовим використанням стічних вод одного споживача іншим, тобто забезпечується безстічна система водного господарства.

Водяне охолодження гарячою водою (без кип'ятіння). Температура охолоджувального продукту знижується від 120 °С до 80-90 °С. У цій схемі використовують хімічно очищену воду. Нагріта до 90-95 °С вода може використовуватись для гарячого водопостачання, або для підігріву конденсату, теплофікації. Циркуляційний контур охолоджувальної води виконують замкненим. Втрати води в системі поповнюють хімічно очищеною водою.

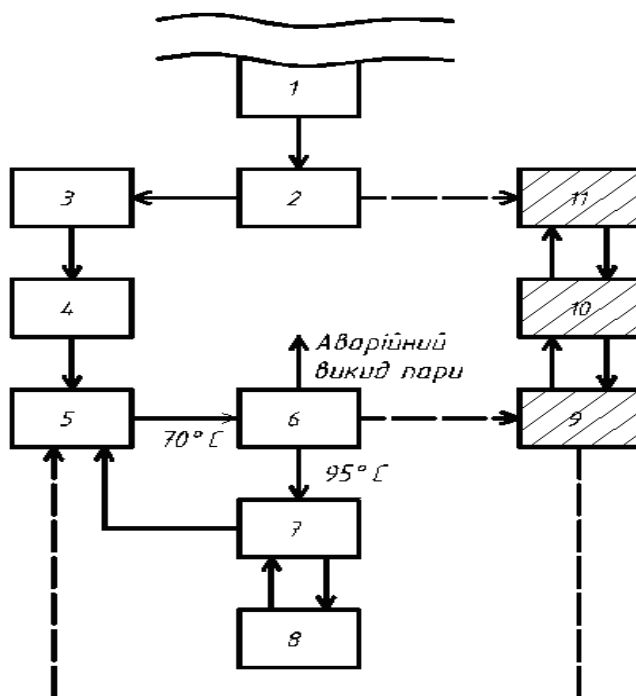


Рисунок 4.1 – Охолодження гарячою хімічною водою:

- 1 – водозабірна споруда; 2 – насосна станція; 3 – хімічноочищення;
4 – запасна ємкість; 5 – насосна станція охолодженої води;
6 – охолоджувальний елемент; 7 – бойлер; 8 – споживач пари

Ця схема працює у разі, коли є споживач гарячої води. За відсутності споживачів гарячої води у наведену схему включаються: теплообмінник (9), циркуляційна насосна станція (10), охолоджувач (11).

Перевагами системи охолодження гарячою водою є можливість використання тепла охолоджувальної води. Крім того, виключається можливість прогару холодильників тому, що не утворюється накип унаслідок використання пом'якшеної води. Недоліки системи: складність комунікацій і залежність від споживача тепла.

4.3 Випарне охолодження (охолодження водою, що кипить)

Сутність випарного охолодження полягає у відведенні тепла від охолоджувальної стінки деталі киплячою водою шляхом зміни її агрегатного стану (за рахунок скритої теплоти пароутворення). В системах випарного охолодження холодну охолоджувальну воду замінено киплячою, коефіцієнт теплопередачі якої значно вище. Охолодження відбувається внаслідок відводу пари. Тепло, яке відбирається охолоджувальною водою витрачається на випаровування цієї води. Установка працює на хімічно очищеній воді. Таку систему застосовують у разі, якщо температура води не впливає на технологічний процес, тобто для збільшення стійкості деталей у процесі їх роботи в зоні високих температур (металургійні печі, печі будівельної індустрії тощо).

Уперше систему випарного охолодження було впроваджено на мартенівських печах Донецького металургійного заводу. Робота відзначена Державною премією першого ступеня та є реалізацією вітчизняного винаходу (автори С. М. Андон'єв, Г. Є. Крушель), яке широко застосовують нині в Росії та за кордоном.

Системи охолодження з паротворенням усередині деталі. У таких системах випарного охолодження (рис. 4.2) охолоджувані деталі приєднані двома трубами до бака-сепаратора. По опускній трубі бака-сепаратора підводиться до деталі вода, а пароводяна суміш, що утворилася, по підйомній трубі відводиться в бак-сепаратор, де пара відділяється від води і відводиться по паропроводу. Пара виходить низького тиску. Вода в системі циркулює безперервно. При цьому застосовують як природну циркуляцію, так і штучну. У системі з примусовою циркуляцією між баком-сепаратором і агрегатом встановлюють циркуляційний насос.

Природна циркуляція заснована на різниці щільності води і пароповітряної суміші в опускній і підйомній трубах. При цьому досягається саморегулювання процесу охолодження. Збільшення температури агрегату призводить до збільшення змісту пари в пароводяній суміші та зменшенню щільності її в підйомній трубі, внаслідок чого кратність циркуляції води зростає і температура агрегату стабілізується.

Вода, що відводиться у вигляді пари, поповнюється хімічно очищеною водою, яка подається в бак-сепаратор. При цьому при використанні пари і поворотного конденсату втрати води складають не більше 15% від звичайних втрат при водяному охолодженні.

Переваги випарного охолодження:

- забезпечується надійність роботи печей, збільшується термін служби охолоджуваних деталей, виключаються ремонти через прогар деталей, оскільки використовується хімічно очищена вода;
- відсутні охолоджувальні пристрої (градирні, ставки-охолоджувачі, бризкальні басейни), водоводи великих діаметрів, потужні насоси;

- тепло охолоджувальної води можна використовувати без зміни умов експлуатації системи, оскільки система не залежить від споживачів тепла;

- зменшуються об'єм споруд та потужність системи водопостачання, відповідно зменшуються капіталовкладення і спрощується експлуатація системи через зменшення витрати води на охолодження.

Практичне застосування випарного охолодження підтверджує його переваги. При перекладі доменних печей Донбасу на випарне охолодження термін їх служби подовжився в 2 рази, а для заводів інших районів у 1,5 рази, що фактично економить один капітальний ремонт, скорочує витрату води і електроенергії на її подачу в середньому на 70–80 %.

Системи охолодження з паротворенням поза деталлю. Різновидом схеми випарного охолодження, наведеної на рисунку 4.2, є схема з паротворенням поза деталлю.

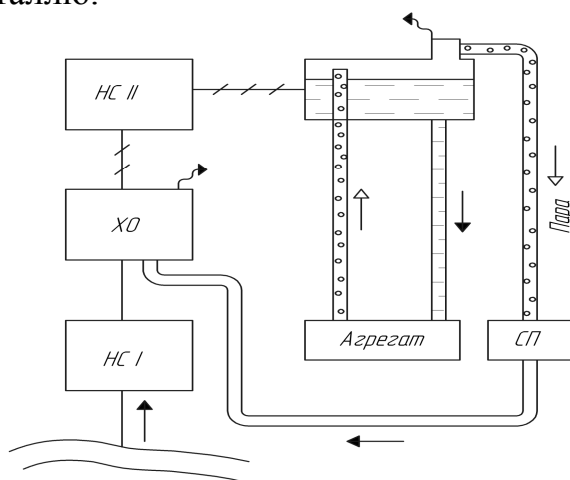


Рисунок 4.2 – Схема випарного охолодження металургійних печей з природною циркуляцією:

ХО – станція хімводоочищення; СП – споживач пари; БС – бак-сепаратор

У системах охолодження з паротворенням поза деталлю охолоджуючим агентом може бути вода або висококиплячі теплоносії. В охолоджуваних деталях пар не утворюється, тому можна застосовувати конструкції звичайного водяного охолодження. Сутність замкненої системи водяного охолодження з винесеним випарником полягає в тому, що тиск води в охолоджуваній деталі вище, ніж у баку-сепараторі, тому в деталі не утворюється пара, скипання відбувається в баку-сепараторі.

Система працює з примусовою циркуляцією, вона складна в експлуатації та виготовленні.

Системи охолодження висококиплячим теплоносієм (далі – ВТ) застосовують, коли немає необхідності дуже знижувати температуру нагрітої деталі. Охолоджувані деталі охолоджуються циркулювальним ВТ, а сам ВТ охолоджується шляхом випарного охолодження водою, тобто в цій схемі два охолоджувальних контури (рис. 4.3).

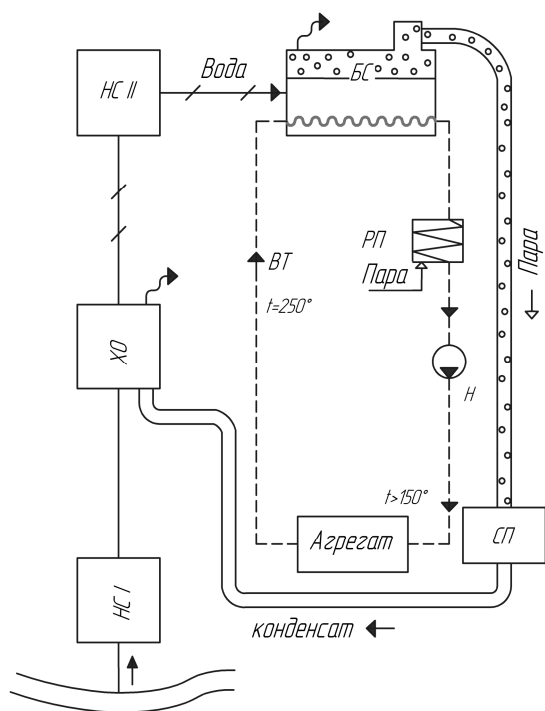


Рисунок 4.3 – Система охолодження металургійних печей із висококиплячим теплоносієм (ВТ):

ХО – станція хімводоочищення;

СП – споживач пари;

РП – резервний підігрівач;

ВТ – висококиплячий теплоносій

Як ВТ для охолодження деталей використовують спеціальні масла, ртуть, розчини висококиплячих мінеральних або органічних солей, тобто теплоносії, що мають високу температуру кипіння. Унаслідок цього охолодження деталей відбувається при невеликому тиску і високій температурі теплоносія, тепло якого використовується в теплообміннику бака-сепаратора для отримання пари високого тиску. Система може працювати як із примусовою, так і з природною циркуляцією. Двохконтурна схема охолодження з застосуванням ВТ складається з контуру циркуляції агента для охолодження деталей печі й системи охолодження ВТ. Теплоносії, що нагріває деталі до $200 - 250^\circ\text{C}$, охолоджується водою в трубчастому теплообміннику, в якому при цій температурі виходить пара високого тиску.

Істотним недоліком систем випарного охолодження з застосуванням ВТ є застигання агента при низьких температурах, що ускладнює експлуатацію в зимовий період. Отже в контур циркуляції теплоносія вмонтовують резервний підігрівач ВТ, який забезпечує підігрів теплоносія за умов падіння його температури нижче за 50°C .

4.4 Техніко-економічні показники систем охолодження

У промисловості застосовують системи водяного, випарного і повітряного охолодження. Не розглядаючи докладно системи повітряного охолодження варто зазначити, що вони є дуже перспективними, оскільки застосування їх знижує забруднення навколишнього середовища і забезпечує значну економію водних ресурсів. Проте застосування повітряного охолодження здебільшого не може забезпечити необхідного ступеня охолодження.

Системи охолодження повинні відповідати деяким загальним вимогам. Вони мають бути сучасними, тобто відповідати сучасній технології

виробничого процесу, надійними, тобто забезпечувати необхідну температуру охолодження продукту або агрегату, й економічно вигідними. Система охолодження повинна забезпечувати: якомога триваліший термін служби, максимальну незалежність роботи агрегату від джерела живлення системи охолодження, виходу пари, споживачів тепла, не повинна ускладнювати технологію основного процесу виробництва.

Основні техніко-економічні показники систем водяного й випарного охолодження наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні техніко-економічні показники систем водяного і випарного охолодження металургійних печей

Найменування показників	Печі			
	доменна	мартенівська	нагрівальна	феросплавна
Втрати тепла на 1 т продукції, тис ккал/год	120	240	150	350
Ступінь використання тепла при випарному охолодженні	80 %	90 %	–	–
Витрата води на 1 т продукції при водяному охолодженні	25	12	10	25
Витрата води на 1 т продукції при випарному охолодженні	0,25	0,4	0,25	0,6
Втрати води від витрати при водяному оборотному водопостачанні	3 %		5 %	
Втрати води від витрати при випарному охолодженні з використанням тепла	0,3 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %
Те ж саме без використання тепла	1,0 %	2,5 %	–	2,0 %

З таблиці видно, що випарне охолодження має незаперечні переваги перед водяним. При водяному охолодженні тепло нагрітої води через малу температуру її нагріву використовувати практично неможливо, витрати охолоджувальної води в 100–30 разів більше, ніж при випарному охолодженні, для охолодження води потрібно передбачати спеціальні охолоджувачі, що вимагають відповідної експлуатації, зростають безповоротні втрати води тощо. Недоліком випарного охолодження є їх висока складність, що пов'язана з необхідністю з'єднувати кожен елемент охолоджуваного агрегату двома трубами з баком-сепаратором, що істотно збільшує капітальні затрати. Отже такі системи застосовують для охолодження агрегатів з великим тепловим навантаженням (доменні, мартенівські, нагрівальні печі тощо) і у разі обмеженості водних ресурсів.

Головні технологічні й економічні вимоги до систем охолодження можна сформулювати так:

1. Втрати тепла з охолоджувальною водою повинні бути мінімальними.
2. Витрати енергії на експлуатацію систем охолодження повинні бути

мінімальними, а тепло, що відводиться від охолоджуваних деталей, повинне використовуватися за економічно вигідною схемою.

3. Капіталовкладення з комплексу охолоджувальної системи повинні бути мінімальними, а енергетичне господарство найпростішим.

Питання для самоперевірки

1. Наведіть класифікацію систем охолодження води.
2. Від чого залежить витрата охолоджувальної води?
3. Як здійснюється охолодження холодною водою?
4. У чому полягають переваги випарного охолодження порівняно з водяним?

ТЕМА 5 ОХОЛОДЖУВАЧІ ВОДИ

1. Процеси охолодження в охолоджувачах.
2. Класифікація споруд для охолодження води.
3. Якісна і кількісна характеристики роботи охолоджувачів.
4. Водосховища-охолоджувачі.
5. Бризкальні басейни.
6. Типи градирень та їх конструкції.

5.1 Процеси охолодження в охолоджувачах

При зворотному водопостачанні промислового об'єкта охолоджувальний пристрій (охолоджувач) повинен забезпечити охолодження циркуляційної води до температур, що відповідають оптимальним техніко-економічним показникам роботи об'єкта.

У процесі охолодження обладнання, продуктів виробництва, газів тощо вода відбирає тепло і віддає його навколишньому середовищу в охолоджувачах. Найчастіше тілом, що поглинає тепло від зворотної води, слугує повітря.

Отже, зниження температури води в охолоджувачах здійснюється внаслідок віддачі її тепла повітрю. Ефективність процесу охолодження залежить від температури повітря, його вологості, швидкості руху повітря та поверхні зіткнення охолоджуваної води з повітрям.

Охолодження води повітрям відбувається за допомогою таких процесів:

1. передача тепла повітрю зіткненням

$$Q_{\text{зіткн}} = \alpha \cdot F \cdot (t - \tau), \text{ кДж/год}, \quad (5.1)$$

де α – коефіцієнт теплопередачі зіткненням, кДж/м²×год;

F – площа зіткнення води і повітря, м²;

t – температура охолоджуваної оборотної води, °С;

τ – температура повітря, °С.

Тепло від води повітрю передається тільки за умови, коли $t > \tau$.

2. Передача тепла внаслідок випаровування води. Кількість тепла, яке віддає вода при випаровуванні, визначається за рівнянням

$$Q_{\text{вип}} = \beta \cdot F \cdot (1 - \varphi / 100), \quad (5.2)$$

де β – коефіцієнт теплопередачі випаровуванням;

F – площа зіткнення води і повітря, м^2 ;

φ – відносна вологість повітря, %.

Аналізуючи рівняння, можна дійти висновку, що чим менше вологість повітря і більше площа зіткнення води з повітрям, тим вище ефект охолодження.

Обидва процеси (віддача тепла повітрю зіткненням і випаровуванням) відбуваються в одному напрямку якщо $t > \tau$.

У разі, якщо $t = \tau$, охолодження води здійснюється тільки унаслідок випаровування, а при $t < \tau$ процеси охолодження випаровуванням та зіткненням відбуватимуться у протилежних напрямках.

5.2 Класифікація споруд для охолодження води

Для отримання необхідної температури відпрацьовану зворотну воду безпосередньо або після попередньої очищення від забруднень перед новим її використанням охолоджують у спеціальних спорудах (водосховищах-охолоджувачах, бризкальних басейнах і градирнях).

Для охолодження води використовують як відкриті водойми (ставки, водосховища-охолоджувачі), так і спеціальні споруди.

Зниження температури води в охолоджувачах здійснюється у результаті віддачі її тепла повітрю. Ефективність процесу охолодження залежить від температури повітря, його вологості, швидкості руху повітря та поверхні зіткнення охолоджуваної води з повітрям.

За способом передачі тепла охолоджувачі поділяють на такі:

- випарні (відкриті), в яких охолодження води відбувається унаслідок випаровування при безпосередньому контакті з повітрям (випаровування 1% води знижує температуру на 6°C);
- радіаторні (поверхневі), в яких теплопередача здійснюється шляхом передачі тепла води до трубок радіатору, а від них – повітрю, тобто немає безпосереднього контакту з повітрям.

До відкритих охолоджувачів належать водосховища-охолоджувачі, бризкальні басейни, відкриті градирні, в яких рух повітря забезпечується вітром або природною конвекцією. Баштові й вентиляторні охолоджувачі називаються градирнями. В баштових градирнях рух повітря забезпечується природною тягою, яка утворюється високою витяжною баштою. Вентиляторні градирні можуть бути обладнані нагнітальним чи всмоктувальним вентилятором, що забезпечує інтенсивний рух повітря.

5.3 Якісні та кількісні характеристики роботи охолоджувачів

Необхідна площа контакту в бризкальних охолоджувачах створюється розбризкуванням води через спеціальні сопла або насадки. В краплинних, плівкових та комбінованих охолоджувачах необхідна площа контакту створюється шляхом розподілення води над спеціальними зрошуючими

пристроями, які забезпечують подрібнення краплин до необхідних розмірів або створення тонких плівок для ефективного охолодження нагрітої води.

Кількісними характеристиками охолоджувача приймаються гідравлічне і теплове навантаження.

Гідравлічне навантаження (щільність зрошення) показує кількість води ($\text{м}^3/\text{год}$), що доводиться на м^2 активної (робочої) площі охолоджувача в плані.

Теплове навантаження охолоджувача відображає кількість тепла, що віддає вода повітрю на м^2 охолоджувача.

Якісна сторона охолоджувача (охолоджувальний ефект) характеризується такими показниками:

1) перепадом температур або шириною зони охолодження – різниця між температурою води, що надходить до охолоджувача і температурою охолодженої води

$$\Delta t = t_1 - t_2,$$

де t_1 – температура гарячої води, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 – температура охолодженої води, $^{\circ}\text{C}$;

2) висотою зони охолодження (ступінь наближення температури охолодженої води до теоретичної межі охолодження).

5.4 Водосховища-охолоджувачі

Водосховища-охолоджувачі застосовують для охолодження великих витрат води. Вони становлять величезні накопичувачі води в складках місцевості.

У водосховищах-охолоджувачах охолодження води здійснюється головним чином унаслідок випаровування частини води і безпосередньої передачі тепла повітрю з водної поверхні. Охолодження води здійснюється під час руху її від місця випуску до місця водозабору, але не весь ставок бере участь в охолодженні. Величина активної зони водосховища менше за площу дзеркала водосховища.

Орієнтовно, для охолодження 1 м^3 води за годину потрібно приблизно 30 м^2 площі контакту її з повітрям. Основним показником охолоджуючої здатності є площа активної зони, тобто площа водосховища, з якої відбувається теплопередача. Коефіцієнт використання водосховища є відношення площі активної зони до площі дзеркала водосховища і має такий вигляд:

$$K_B = \frac{W_{\text{акт}}}{W_{\text{в}}}, K_B = 0,5-0,95.$$

Він залежить від форми ставка, розташування водозабору і скиду води, умов розтікання потоку. Оптимальною є витягнута форма водосховища з плавним обрисом берегів і розсіювальним випуском, для якої K_B наближається до 1.

Найпоширеніші типи водосховищ-охолоджувачів показано на **рисунку 3.4.**

Водосховища-охолоджувачі доцільно застосовувати при розташуванні підприємства поблизу природних водоймищ або річок, на яких є сприятливі умови для створення водосховищ.

Водосховища-охолоджувачі застосовують у разі:

- невисоких вимогах до ефекту охолодження;
- наявності природних водосховищ;
- наявності вільних малоцінних земельних площ поблизу підприємства.

Переваги водосховищ-охолоджувачів такі:

- простота будови й експлуатації;
- можливість отримання протягом значної частини року більш низьких температур охолодженої води, ніж на бризкальних басейнах і градирнях;
- під час використання їх для охолодження ставків немає необхідності створювати додатковий напір для підйому води та її розбризкування. При великих витратах це є істотною перевагою перед іншими типами охолоджувачів.

Недоліки ставків-охолоджувачів:

- складність експлуатації, пов'язана з замулюванням, заростанням ставків і цвітінням води в них; при глибині ставків більше 4 м цвітіння і заростання ставків відбуваються меншою мірою;
- необхідність великих площ через невелике гідравлічне навантаження і значні капітальні витрати на будівництво;
- небажані екологічні наслідки, пов'язані з підвищенням рівня ґрунтових вод, що призводять до зміни флори і фауни, а також ускладнення і дорожчання будівництва промислових цивільних об'єктів у зонах підтоплення.

Незважаючи на ці недоліки, водосховища-охолоджувачі застосовують для охолодження в теплоенергетиці, коли споживачами води є потужні паротурбінні електростанції.

З метою посилення охолоджувального ефекту ставка в деяких випадках доцільно над його поверхнею встановлювати сопла для розбризкування води.

5.5 Бризкальні басейни

Бризкальні басейни становлять відкриті резервуари, над поверхнею яких розбризкується вода. Резервуари можуть бути штучними або природними водоймами. Розбризкування води забезпечується системою розподільних труб для подачі води і сопел (рис. 5.1). Необхідна площа контакту в бризкальних охолоджувачах створюється розбризкуванням води через спеціальні сопла або насадки. Відстань між розподільними трубами і між насадками (соплами), ширина коридорів повинні забезпечувати якнайкращі умови для розбризкування води. Факели від окремих насадок не повинні перетинатися.

Бризкальні басейни потребують незначних капітальних вкладень, прості в експлуатації, але мають невисокий охолоджуючий ефект і потребують спланованого майданчика. Зазвичай, їх використовують в умовах, коли не потрібно постійної низької температури.

Охолодження нагрітої води відбувається холоднішим повітрям у процесі падіння крапель води, що утворюються під час роботи розбризкувальних насадок. Охолоджена вода збирається в басейні, звідки поступає у всмоктувальний колодезь і далі подається насосами в систему оборотного водопостачання.

Бризкальний басейн обладнують грязьовим випуском для спорожнення басейну і переливною лінією. При проектуванні бризкальних басейнів передбачаються випуски води безпосередньо в басейн для скидання її без розбризкування в зимовий період. Кількість секцій бризкальних басейнів повинна бути, зазвичай, не менше двох. Застосування однієї секції допускається для оборотних систем з періодичним режимом роботи.

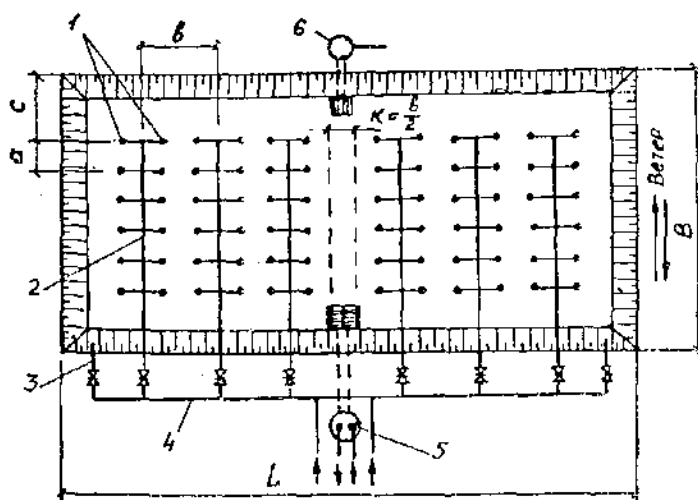


Рисунок 5.1 – Схема

бризкального басейну:

1 – насадки або сопла;

2 – розподільні труби;

3 – випуски для скидання води;

4 – магістральний трубопровід
або головний колектор;

5 – всмоктувальний колодезь
охолодженої води;

6 – колодезь спорожнення

Глибина басейну зазвичай становить 1,5–2 м, відстань від рівня води до брівки укосу 0,3 м, сопла розташовують на висоті 1,2–1,5 м від поверхні води.

Розміри басейнів встановлюються з умов гідравлічного навантаження 0,8–1,3 м³/год на м² площі. Ширина бризкального басейна повинна бути не більше 50 м.

Майданчик навколо басейну асфальтують на ширину 3–5 м з ухилом у бік басейнів. Бризкальні басейни виконують з бетону або залізобетонних плит із гідроізоляцією.

Для зменшення фільтрації води і запобігання розмиву стінок і дна басейну бічні укоси і дно басейну влаштовують залежно від місцевих умов різними способами.

Басейн обладнують водоприймальним і водоспусковим колодезями. У водоприймальний колодезь, що розташовується на відстані 5–6 м від брівки басейну йде самотісна лінія. На кінці її в басейні знаходяться грубі ґрати, а у всмоктувальному колодезні встановлена очисна сітка.

Кількість басейнів повинна бути не менше двох. Через значне винесення краплинної вологи їх розташовують на відстані 50–100 м від інших споруд.

Розбризкувальні сопла або насадки є найважливішим елементом бризкальних басейнів. Їх призначення полягає в рівномірному розподіленні води над басейном і створенні однакових за розміром дрібних краплин. Сопла повинні забезпечувати максимальне розбризкування води. Це забезпечується

формою сопла та напором води перед ним.

Конструкція сопла і величина напору воду перед ним визначають поверхню охолодження водяного факелу.

Сопла розташовують на висоті 1,2–1,5 м над рівнем води по одному або пучками, які складаються з 3–5 штук.

5.6 Типи градирень та їх конструкції

Градирні використовують у системах оборотного водопостачання, де потрібне стійке та глибоке охолодження води. Градирні це більш вдосконалені споруди для охолодження води, які характеризуються високими якісними й кількісними показниками. Високий охолоджуючий ефект градирень визначається наявністю площі поверхні та часу контакту води з повітрям, який досягається різними способами.

У градирнях вихідна вода розбризкується по площі водорозподільним пристроєм у вигляді окремих струменів, які падають до низу, контактують із повітрям і охолоджуються (бризкальні градирні). Проте в більшості градирень для підвищення ступеня контакту води з повітрям вставляють додатково спеціальний зрошувач. Зрошувач забезпечує подрібнення потоків води і контакт їх з повітрям. Охолоджена вода збирається в резервуарі під градирнею.

Отже, тепловіддача градирень залежить від швидкості руху крапель чи плівки і головним чином від швидкості повітря. Рух повітря створюється внаслідок тяги в башті або вентилятором.

Бризкальні градирні (градирні без зрошувача), в яких поверхня охолодження створюється за допомогою розбризкування води високонапірними соплами, що встановлюють над водозбірним басейном, менш ефективні, ніж градирні з краплинними чи плівковим зрошувачем, оскільки площа поверхні контакту води з повітрям у них значно менше.

За способом подачі повітря градирні поділяють на такі три типи: відкриті, баштові і вентиляторні.

За напрямом руху повітря й охолодження води у зрошувачі розрізняють градирні:

- 1) протиточні (повітря рухається назустріч воді);
- 2) поперечні (повітря і вода рухаються в зрошувачі взаємно перпендикулярно);
- 3) поперечнопротиточні (у центральній частині зрошувача градирні рух води і повітря протиточний, а в периферійній його частині він поперечний).

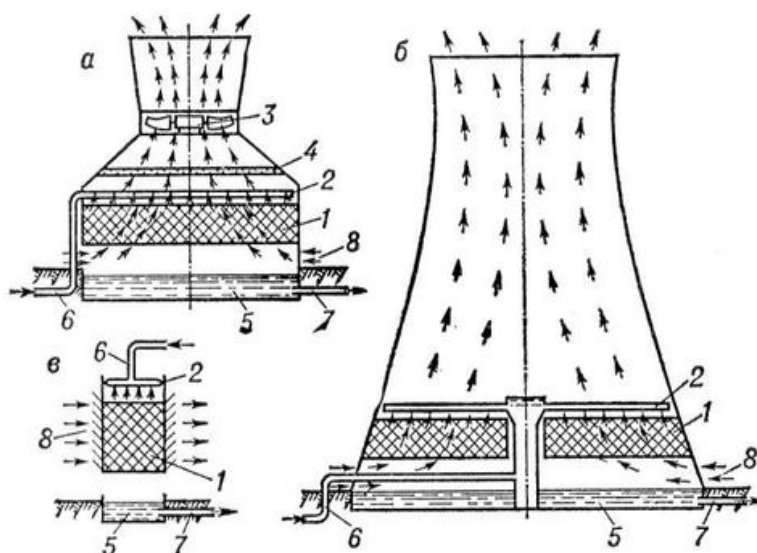


Рисунок 5.2 – Градирні: а – вентиляторна; б – баштова; в – відкрита;

1 – зрошувач; 2 – водорозподільувач; 3 – вентилятор; 4 – водоуловлювач;
5 – резервуар; 6 – підведення води; 7 – відведення води; 8 – вхід повітря

За типом зрошувача, градирні поділяють на такі:

- 1) краплинні, в яких тепловіддача переважно відбувається з поверхні крапель води;
- 2) плівкові, в яких основна тепловіддача здійснюється з поверхні тонкої плівки, що утворюється на щитах зрошувача;
- 3) комбіновані, в яких тепловіддача здійснюється як з поверхні водяних крапель, так і з поверхні водяної плівки.

Особливим різновидом градирень є радіаторні градирні, в яких охолоджена вода віддає своє тепло повітрю, що проходить через охолоджувач шляхом тепловіддачі через стінку радіатора.

Варто відзначити, що незважаючи на різноманіття конструкцій градирень вони мають низку загальних елементів: водорозподільні системи, зрошувальні пристрої, водоуловлювачі, а також водозбірні резервуари.

Водорозподільні й зрошувальні устрої градирень. Охолоджувана вода розподіляється над зрошувачем градирні по системі дерев'яних або залізобетонних лотків, у дні яких маютья отвори, в які вставлені трубочки – гідравлічні насадки. Струмені води, що витікають із насадок, падають на розбризкувальні тарілки й утворюють фонтани бризок, які зрошують розташований нижче зрошувач. Гідравлічні насадки і тарілочки виготовляють із фарфору чи пластмаси. Їх розташовують над зрошувачем у такий спосіб, щоб факели бризок, створюваних сусідніми тарілочками, перекривали один одного, досягається це при відстані між ними 1–1,25 м. Застосовують також напірний водорозподільний пристрій із неіржавних труб, наприклад, азбестоцементних. У цьому разі вода розбризкується над зрошувачем за допомогою спеціальних низьконапірних сопел.

Основним типом зрошувачів, що забезпечують найвищий ефект

охолодження, є плівковий, але він чутливий до наявності у воді нафтопродуктів, завислих речовин та інших домішок, які спричиняють заростання зазорів між елементами. Плівкові зрошувачі застосовують при концентрації нафтопродуктів менше 25 мг/л і завислих речовин до 50 мг/л. При загальній концентрації в оборотній воді жирів і нафтопродуктів 25–125 мг/л застосовують краплинні або краплинно-плівкові зрошувачі, а при концентрації вказаних речовин більше 120 мг/л – бризкальні.

Зрошувач забезпечує подрібнення потоків стікаючої води і контакт їх із повітрям. Залежно від умов протікання води вони поділяються на краплинні, плівкові й комбіновані.

Краплинний зрошувач складається з великої кількості дерев'яних рійок трикутного або прямокутного перетину, розташованих горизонтальними ярусами. При падінні крапель води з верхніх рейок на нижні утворюються факели дрібних бризок, що створюють велику поверхню зіткнення з повітрям.

Сучасні конструкції краплинних зрошувачів виготовляють із полімерних плоских решіток або штампованих сітчастих (перфорованих) елементів із поліетилену. Термін служби зрошувачів та водоуловлювачів із полімерних матеріалів становить близько 20–25 років, тоді, як дерев'яні конструкції виходять із ладу за 10–15 років. Пластмасові зрошувачі компактні, прості у монтажу і легше азбестоцементних і дерев'яних.

Плівкові зрошувачі мають менший, ніж краплинні, аеродинамічний опір, але потребують великих затрат матеріалу на їх виготовлення. Виготовляють їх із дерев'яних і азбестоцементних щитів або конструкцій з полімерних матеріалів. Щити встановлюють вертикально або під невеликим кутом до вертикалі. По поверхні щитів стікає вода, утворюючи плівку завтовшки 0,3–0,5 мм.

Відкриті градірні порівняно з іншими типами градірень найбільш прості й близькі до бризкальних басейнів за своїми якісними та кількісними характеристиками. Їх поділяють на бризкальні та крапельні.

Відкриті бризкальні градірні становлять невеликий витягнутий у плані бризкальний басейн, що з усіх боків огорожений жалюзійною решіткою, що виконує функцію водоуловлювачів та перешкоджає виносу бризг за межі градірні.

Вітер вільно продуває жалюзійну решітку й обдуває низхідні потоки води. Розбризкувальні сопла направлені вниз і знаходяться на висоті 4–5 м над поверхнею води в резервуарі. Вода окремими струменями проходить цей вільний простір, охолоджується і збирається в резервуарі. Щільність зрошення встановлюється в межах 1,5–3 м³/год на м². У крапельних градірнях цей вільний простір заповнений крапельним зрошувачем. Щільність зрошення приймається 2–4 м³/год на м².

Градірні мають ширину до 4 м у довжину 20–30 м. Їх розміщують довгою стороною за напрямом переважаючих вітрів у жаркий період.

Відкриті краплинні градирні відрізняються від бризкальних конструктивно тільки тим, що вода розбризкується на зрошувач. За допомогою цього ефекту охолодження збільшується приблизно у два рази.

Відкриті градирні використовуються при невеликих витратах води – до 300–1500 м³/год і забезпеченні невисокого охолоджувального ефекту. Ефект охолодження значно зменшується при відсутності вітру.

На практиці застосовують відкриті градирні з розбризкуванням води у двох рівнях: верхній розподільувач працює в зимовий період, а нижній – у літній період.

Баштові градирні мають високі витяжні башти, які забезпечують природну тягу повітря за рахунок різниці в щільності повітря на виході з башти та теплого й зволоженого повітря всередині градирні.

Площа баштових градирень може бути від до 4000 м², а продуктивність – від 10 до 32000 м³/год. Щільність зрошення приймається 4–8 м³/год на м². Площа перерізу башти призначається 30–40 % від площі зрошувача.

Баштові градирні забезпечують стійкіше охолодження, ніж відкриті градирні та бризкальні басейни. Вони припускають більшу інтенсивність зрошення, а тому і більш компактні, і можуть мати будь-яку продуктивність. Але вони мають високу будівельну вартість, а також складні у спорудженні.

Гідравлічне навантаження для баштових градирень вище, ніж для відкритих і становить зазвичай 3–6 м³/м²×год.

У баштових градирнях використовують протитоківі й поперечні зрошувачі. При використанні протитоківих зрошувачів башти розташовують над зрошувачем, а поперечних – зрошувач розташовують кільцем навколо башти.

Башти градирень споруджують циліндричної, гіперболоїдної і наближеної до неї форми, з круглою підставою або у вигляді багатокутника. Виконують їх із залізобетону або роблять сталевий каркас, який зсередини обшивають деревом чи азбестоцементом.

Водозбірний резервуар градирні зазвичай виготовляють із залізобетону з відповідною гідроізоляцією, обладнують переливними та грязьовими випусками.

Воду на охолодження до розподільних пристроїв подають по стоякам центральним або боковим (для невеликих градирень). Зрошувачі встановлюють на дерев'яний або залізобетонний каркас.

У градирнях площею більшою за 1000 м² над водорозподільним пристроєм додатково влаштовують водоуловлювач. При збільшенні площі зрошувача башту проектуєть вищою.

Градирні великої продуктивності виконують із баштами гіперболічної форми, які володіють хорошими аеродинамічними показниками і стійкістю. Висота таких градирень досягає 135 м, площа зрошувача до 6000 м², а продуктивність до 50000 м³/год.

Сумарна площа вхідних вікон дорівнює 35–45 % площі градирні в плані. Для зменшення аеродинамічного опору над вхідними вікнами монтують

повітрянапрямний козирок. Вікна обладнують поворотними щитами для зміни витрат.

Для розрахунку градирень побудовані експериментальні залежності, які дають можливість від температури та вологості повітря місцевості, необхідного температурного перепаду визначити щільність зрошення і відповідно площу зрошувача.

Вентиляторні градирні – споруди для охолодження води в оборотних системах водопостачання з примусовою подачею повітря в зрошувальний простір за допомогою вентиляторів. Порівняно з баштовими градирнями, а також бризкальними басейнами, вентиляторні градирні забезпечують стійкіше охолодження води, оскільки дають змогу регулювати температуру охолодженої води шляхом зміни кількості оборотів або відключення окремих вентиляторів. Температура охолодженої води у вентиляторах градирнях нижча, ніж у баштових, за однакових умов на 3–5 °.

Вентиляторні градирні дають змогу підвищувати щільність зрошення до 10-14 м³/год на м². Вентиляторні градирні поділяють на баштові, що обладнані вентилятором великої продуктивності і секційні, які складаються із окремих секцій з самостійними вентиляторами. Існують односекційні градирні та багатосекційні, що складаються з 2–6 стандартних прямокутних чи квадратних у плані секцій площею до 200 м² кожна.

Односекційні (одновентиляторні) градирні мають площу зрошувача більше 400 м², застосовують їх при великих витратах (більше 10000 м³/год), споруджують круглими, квадратними або прямокутними в плані.

Основні схеми вентиляторних градирень наведено на рисунку 5.3. Вони можуть бути з поперечним і з протиточним рухом повітря (за способом подачі повітря), з нагнітальними і з витяжними вентиляторами. Останні мають таку перевагу, що вентилятор розташований в зоні теплого повітря і в зимовий період не обмерзає. Крім того, в градирнях із витяжним вентилятором повітря рівномірно розподіляється по перетину зрошувача і його рециркуляція, що здійснюється вітром, значно менше. Нагнітальні вентилятори розміщуються знизу, що дає можливість швидко проводити ремонт і огляд. Але нагнітальні градирні застосовують рідко і тільки при малих витратах, хоча монтаж і їх обслуговування простіше, ніж витяжних.

Вентиляторні градирні забезпечують глибоке і стійке охолодження, але витрачають велику кількість електроенергії, складні в експлуатації, вентилятор постійно шумить, може з'являтися туман над землею, який несприятливо впливає на технологічне обладнання. У районах із низькою температурою та високою відносною вологістю зовнішнього повітря вони можуть бути не рентабельними. Зазвичай вентиляторні градирні використовують в умовах, коли потрібна низька й стабільна температура води.

Регулювання витрати повітря в одновентиляторних градирнях здійснюється шляхом установки гідромуфти або багатошвидкісних електродвигунів, а в секційних – відключенням окремих вентиляторів.

Вентиляторні градирні обов'язково обладнують водоуловлювачами різного типу для зменшення виносу краплинної вологи.

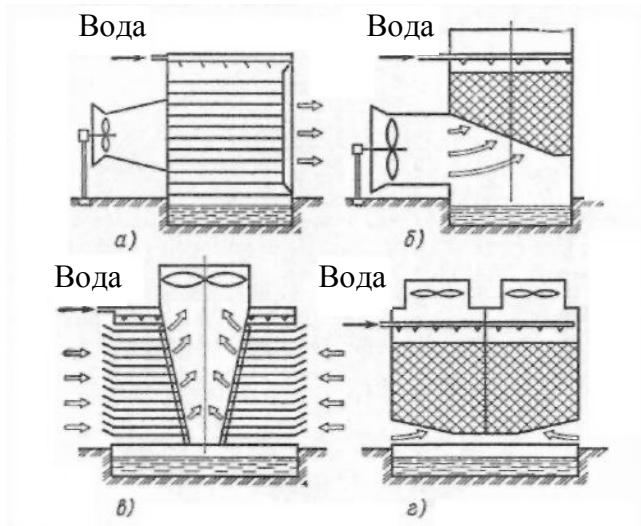


Рисунок 5.3 – Схеми вентиляторних градирень

а), б) – з нагнітальними
вентиляторами; в), г) – з
витяжними

вентиляторами;
а), в) – з поперечним рухом
повітря, б), г) – з протиточним
рухом повітря

На сьогодні у Росії і країнах СНД налагоджено виробництво *малогабаритних вентиляторних градирень*, що постачаються на підприємства в готовому вигляді. Конструкції їх дуже різноманітні. Вони відрізняються за типом і матеріалом зрошувачів і водоуловлювачів, системам розподілення води, підведення повітря, типом та розташуванням вентиляторів. Так, у градирнях типу «Одеса» застосовують зрошувач у вигляді завислих у висхідному потоці повітря шариків діаметром 38–40 мм зі спіненого пропілену з об'ємною масою 250 кг/м^3 . Опір такого зрошувача сягає 500–600 Па. Для звичайних зрошувачів – до 160 Па, тому енергетичні затрати при подачі повітря в такі градирні більше приблизно в три рази. У більшості малогабаритних градирень застосовують традиційні розподілювачі, зрошувачі та водоуловлювачі сучасного типу з широким використанням полімерних матеріалів.

Радіаторні градирні інколи ще називають сухими градирнями. У цих градирнях вода протікає через систему радіаторів з алюмінієвих ореблених труб та скомпонованих у декілька секцій (рис. 5.4). Діаметр трубок, зазвичай приймається 15 мм, а ребра – завтовшки 0,3 мм. Повітря продувається як і у вентиляторних градирнях, відсмоктувальними вентиляторами.

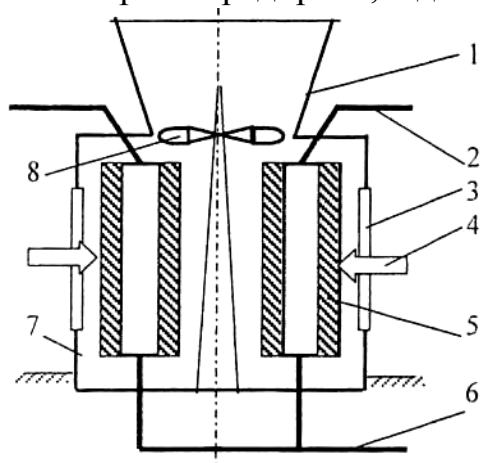


Рисунок 5.4 – Радіаторна градирня

1 – дифузор; 2 – подача води на охолодження;
3 – вікна для повітря; 4 – напрямок входу
повітря; 5 – радіатори; 6 – відведення
охолодженої води; 7 – корпус;
8 – вентилятор

У радіаторних градирнях спостерігаються мінімальні втрати води, а якість води практично не змінюється. Водночас витрачається більше повітря, більші габарити градирні, в спекотну погоду не забезпечується низька

температура води, великі витрати метала і, відповідно, велика вартість. Використовують такі градирні в умовах, коли неможлива подача додаткової води або вартість її дуже висока.

Питання для самоперевірки

1. Класифікація споруд для охолодження води за способом передачі тепла й підведення повітря.
2. За яких умов доцільне застосування водосховищ-охолоджувачів?
3. Переваги й недоліки застосування водосховищ-охолоджувачів і бризкальних басейнів.
4. Типи градирень.
5. Водорозподільні системи й зрошувальні устрої градирень.
6. Типи зрошувачів.
7. Як відбувається охолодження води в градирнях відкритого типу?
8. Конструкція та умови використання баштових градирень.
9. У яких випадках застосовують вентиляторні градирні?
10. Малогабаритні градирні для охолодження води.

ТЕМА 6 МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ І СТІЧНИХ ВОД, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПІДЖИВЛЕННЯ ЗАМКНЕНИХ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ

1. Формування сольового складу і стабілізація іонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання.
2. Прояснення підживлювальної води і стабілізувальної витрати зворотної води.
3. Іонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод й стабілізувальної витрати перед підживленням замкнених зворотних систем

6.1 Формування сольового складу і стабілізація іонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання

У процесі експлуатації зворотних систем водопостачання промислових підприємств дуже важливо знати динаміку зміни у воді концентрації окремих іонів і загального солемісту. Підвищення концентрації солей може призвести до процесів корозії теплообмінних систем і комунікацій. Зміна концентрації іонів у циркуляційній воді залежить від умов експлуатації системи, тобто від величини продувки і методу обробки підживлювальної води, а також від якості води у водоймищі-охолоджувачі.

У деяких випадках унаслідок попадання у зворотну систему продуктів вироблення хімічних виробництв з'являється необхідність у коректуванні рН циркуляційної води. Найпростішим способом регулювання рН циркуляційної води є підкислення води або підлугування. Іншим способом зміни рН циркуляційної води є часткове Н-катіонування або ОН-аніонування і подальше зміщення фільтрату з основною витратою води.

Вибір способу зниження рН циркуляційної води залежить від допустимого вмісту в ній сульфат-іонів. За можливості продувки системи застосовують порівняно дешевий метод - підкислення води сірчаною кислотою, у разі обмеження продувки – часткове Н-катіонування або комбінацію його з підкисленням, при повній відсутності продувки – тільки часткове Н-катіонування.

Залежно від якості вихідної води та вимог, що ставляться до якості споживаної води, частина загальної витрати зворотної води може піддаватися обробці (зм'якшуванню, знесолюванню, видаленню суспензій тощо) з подальшим поверненням її в систему.

При стабільності зворотної води (за відсутністю інкрустації поверхонь відкладаннями CaCO_3 , Mg(OH)_2 або зміні складу води за допомогою продуктів корозії труб і теплообмінної апаратури) зберігається рівність коефіцієнтів упарювання, визначених за поступовим збільшенням у зворотній воді концентрацій різних іонів $k_x = \kappa_{жс} = k_y$ (k_x , $\kappa_{жс}$ – коефіцієнти упарювання по хлоридах, жорсткості). Вказаний випадок можливий при декарбонізації підживлювальної води, тобто при повному або частковому її зм'якшуванні.

За відсутності виділення солей жорсткості у зворотній системі водопостачання загальний солевміст визначається за коефіцієнтом упарювання:

$$C_{зв} = K_y C_{п}, \quad (6.1)$$

де $C_{п}$ – загальний солевміст підживлюючої води, мг/л.

Приріст концентрації хлоридів у зворотній системі

$$X = X_{зв} - X_{п}, \quad (6.2)$$

де $X_{зв}$ і $X_{п}$ – вміст хлоридів у зворотній і підживлювальній воді, мг/л.

Стабілізація зворотної води, що в звичайних зворотних системах водопостачання досягається продувкою, в замкнених системах (системах без продувки) здійснюється шляхом виведення частини оборотної води для коректування її мінерального складу й подальшого повернення в цикл окремо або спільно зі свіжою підживлювальною водою. Необхідний ступінь знесолення цієї частини води залежить від коефіцієнта випаровування зворотної води в системі й відносної кількості води, що виводиться з системи для обробки замість продувки.

Ця кількість води, що називається *стабілізаційною витратою* в замкнених системах зворотного водопостачання, обчислюється з урахуванням того, що об'єм підживлювальної свіжої води в замкнених системах водопостачання повинен компенсувати тільки втрати від винесення води при її розбризкуванні й випаровуванні в охолоджувальних пристроях, а також втрати, обумовлені витратами води на власні потреби (тобто на експлуатацію споруд для коректування сольового складу й освітлення стабілізаційної витрати зворотної води).

Підживлювальна вода при замкненому зворотному водопостачанні становить суміш свіжої (зазвичай освітленої та зм'якшеної) води і стабілізаційної витрати. Іонний склад її визначається складом і об'ємним співвідношенням обох компонентів суміші:

$$C_{д.} = \frac{C_{зм}(P_1 + P_2) + C_{стаб.в.} P_1}{P_1 + P_2 + P_3}, \quad (6.3)$$

де $C_{стаб.в.}$ – іонний склад води *стабілізаційної витрати* (після іонообмінного коректування мінерального складу й освітлення);

$C_{зм}$ – те ж саме, для зм'якшеної свіжої підживлювальної води.

Для попередніх розрахунків величину P_3 приймають 0,2–0,5 % і потім уточнюють за формулою

$$P_3 = \frac{C_{д.} K \cdot \Delta t - \Delta C \cdot P_2}{\Delta C}. \quad (6.4)$$

де $C_{д.}$ – солевміст у підживлювальній воді, мг/л;

$\Delta C = C_{зв} - C_{д.}$ – збільшення солевмісту у зворотній воді внаслідок випаровування;

Якщо зворотна вода стабільна, то загальний солевміст у ній знаходять, враховуючи коефіцієнт упарювання або концентрування за рівнянням сольового балансу системи.

Критерієм задовільної якості зворотної води є відповідність загального солевмісту й окремих іонів гранично допустимим концентраціям, перевищення

яких призводить до інтенсивної корозії або до інкрустації теплообмінних поверхонь трубопроводів і арматури. Гранично допустима концентрація CaCO_3 визначається його розчинністю при температурі зворотної води. Вміст іонів Ca^{2+} , компенсованих іонами HCO_3^- , а також вміст цих іонів безпосередньо не нормується. Гранично допустимі концентрації їх у зворотній воді залежать від теплового режиму системи і вживаних матеріалів. Отже, визначають їх у кожному конкретному випадку за попередніми корозійними випробуваннями в розчинах, що моделюють зворотну воду; або на підставі експлуатаційних даних аналогічних діючих промислових систем зворотного водопостачання.

Прогноз сольового складу і концентрації солей зворотної води має важливе значення при оцінці корозійної дії її на метал теплообмінної апаратури і комунікацій, а також при оцінці можливості відкладення солей жорсткості на теплообмінних поверхнях. Методи оцінки і нормування якості охолоджувальної води визначають максимально допустимий вміст солей не більше за 3000 мг/л, хлор-іонів – не більше за 400 мг/л. Дослідження показують, що при підвищенні вмісту хлоридів і сульфатів зворотну воду необхідно обробляти інгібіторами.

6.2 Прояснення підживлювальної води і стабілізаційної витрати

Основним джерелом накопичення завислих речовин у зворотній воді може бути суспензія природних вод, використовуваних для підживлення систем водопостачання. Суспензії накопичуються також унаслідок біологічних обростань теплообмінних і особливо охолоджувальних поверхонь, що контактують зі зворотною водою.

Одним із головних заходів, що забезпечують стабільність вмісту завислих речовин у зворотній воді, є фільтрування частини зворотної води в кожному циклі. Найдоцільніше в замкнених системах зворотного водопостачання цей процес поєднувати з коректуванням мінерального складу стабілізаційної витрати. У замкнених системах, що працюють зазвичай із високим коефіцієнтом упарювання, необхідно здійснювати ретельне освітлення свіжої підживлювальної води на суміщених станціях прояснення-зм'якшування.

Підживлювальна вода одночасно є джерелом накопичення у зворотній воді іонів кальцію та бікарбонатів, що обумовлює можливість порушення стабільності зворотної води при високих коефіцієнтах упарювання. Отже, для підживлення замкнених (безпродувочних) систем водопостачання потрібно здійснювати порівняно глибоке зм'якшування підживлювальної води та усунення тимчасової жорсткості.

Застосування фільтрування після реагентного зм'якшування істотно збільшує капіталовкладення на водопідготовку, але дає змогу знизити залишкову тимчасову жорсткість до 0,7–0,9 мг-екв/л.

Оскільки швидкість і глибина зм'якшування води істотно залежать від температури, в холодну пору року зм'якшувану воду доцільно підігрівати до 20–25 °С. Знизити енерговитрати на підігрівання зм'якшеної води можна

використанням скидного тепла технологічних цехів підприємства. Зм'якшувану воду можна підігрівати також за допомогою тепла частини зворотної води, що виводиться на охолодження, яка, минувши градірні, подається у змішувач станції прояснення-зм'якшування. Для прояснення підживлювальної, а у низці випадків і зворотної води передбачають одно- або двоступінчасту обробку її з коагуляцією. У таких випадках процес виділення карбонату кальцію та магнію після оброблення води реагентами (вапно, аміак) переноситься на споруди освітлення. Найбільш характерними спорудами для прояснення і хімічної обробки річкової води є вихрові реактори, заповнені контактною масою, коридорні освітлювачі із зваженим шаром осаду, грубозернисті кварцові фільтри або фільтри КФ-5.

Головним відмітним елементом конструкції фільтрів КФ-5 є система дірчастих труб, розташованих над поверхнею завантаження. У період промивання фільтру розподільна система опиняється в товщі зваженого шару завантаження. Щоб уникнути закупорювання її зернами матеріалу частину промивної води (5–10 %) подають у розподільну систему. Цим забезпечується також хороше відмивання верхніх найбільш забруднених зерен фільтрувального матеріалу.

Підвищення фільтрувальної здатності фільтрів КФ-5 забезпечується різним за крупністю завантаженням. Цим задовольняються умови фільтрування у напрямі зменшення крупності. Завантаження має три шари завтовшки 0,5 м кожен. Рекомендований гранулометричний склад завантаження такий: верхній шар – 3,3–2,3 мм, середній – 2,3–1,25 мм, нижній – 1,25–0,8 мм. Як фільтрувальний матеріал застосовують суміші керамзит – аглопорит-кварцовий пісок, керамзит-антрацит-кварцовий пісок, керамзит – доменний шлак – кварцовий пісок, аглопорит-домений шлак – кварцовий пісок. Швидкість фільтрування на фільтрах КФ-5 становить 12–20 м/год, інтенсивність промивки – 15 л/с·м², тривалість – 6–8 хв., граничні втрати напору – 2,5–3 м.

Фільтри КФ-5 дають змогу економити 30–60 % коагулянту і досягти високого технологічного ефекту в ті періоди, коли звичайна двоступінчата схема водопідготовки (відстійники – фільтри) через низьку температуру і низький лужний резерв працює погано.

Одночасно з освітленням відбувається хімічне зм'якшування води за допомогою аміаку або вапна, що подаються на споруди. Ці реагенти вводять на початку процесу у вихрові реактори. Для укрупнення завислих речовин і кристалізації карбонату кальцію та магнію після вихрових реакторів воду коагулюють хлорним або сірчаноокислим залізом. Величина продувки для зм'якшеної води коливається в межах 0,5–1 % від кількості води, що циркулює в системі.

Процеси зм'якшування та прояснювання води при реагентних методах оброблення, а також при використанні осаду як контактної середовища значною мірою залежать від температури води. Якщо при температурі 25–35° залишкова лужність води становить 0,5–0,75 мг-екв/л, а висхідна швидкість води в освітлювачі має бути не більше 1,6 мм/с, то при температурі 20° С ці величини відповідно становитимуть 0,3–0,5 мг-екв/л і 2 мм/с, а час обробки

води скоротиться на 35 %. У разі зниження температури до 5 ° С залишкова лужність води підвищується до 1,5 мг-екв/л, а швидкість знижується до 0,9 мм/с. Унаслідок цього час на оброблення води збільшується в 1,5 рази.

Аби не знижувати глибину зм'якшування, не ускладнювати технологічний процес і не збільшувати розміри споруд зі зм'якшення води, при можливих сезонних коливаннях температури в джерелах водопостачання від 25 до 5 ° С воду необхідно підігрівати. Отже, в холодну пору року передбачають підігрів і підтримання постійної температури зм'якшуваної води за допомогою скидного тепла, придбаного водою в теплообмінній апаратурі. У холодну пору року відбувається загальне скорочення кількості споживаної у зворотному водопостачанні води через температурні перепади і нижчі температури води джерела водопостачання, зменшення втрат на градирнях унаслідок виключення частини їх із роботи за метеорологічними умовами.

6.3 Іонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод й стабілізувальної витрати перед підживленням замкнених зворотних систем

Для підживлення зворотних систем теплообмінного водопостачання іноді достатньо усунути карбонатну жорсткість води. Використання реагентних методів для коректування мінерального складу води, призначеної для підживлення зворотних систем, дає змогу тільки зм'якшити воду або перевести тимчасову жорсткість у постійну та підвищити за допомогою цього стабільність води в теплообмінних системах. Однак у замкнених системах водопостачання необхідно не тільки зм'якшення зворотної води, але і зменшення її загального солевмісту й послаблення корозійної активності шляхом коректування концентрації сульфатів, хлоридів та регулювання рН.

Загалом же потрібно скоректувати їх іонний склад так, щоб не тільки запобігти утворенню карбонатних відкладень, але також виключити відкладення гіпсу і накопичення розчинних солей у зворотній воді, не вдаючись до так званого стабілізаційного скиду частини зворотної води з системи для заміни її менш мінералізованою.

Використання очищених стічних вод для промислового водопостачання підприємств залежно від призначення технічної води пов'язане з більш менш глибоким зм'якшуванням води, зниженням її мінералізації до певного рівня або практично з повним знесолюванням води.

Такі системи, в яких підтримується тривалий час постійний склад циркулюючої води, отримали назву замкнених зворотних циклів. Підживлення їх свіжою водою здійснюється тільки в кількостях, необхідних для компенсації втрат унаслідок випаровування, віднесення дрібних крапель води з вітром па градирнях й інших неминучих виробничих втрат. Сума всіх цих втрат зазвичай не перевищує 1–2%, тоді як у вигляді стабілізаційного скиду зі звичайних зворотних систем виводиться від 6 до 10 % зворотної води, і отже, для компенсації втрат води необхідно додавати в систему щодоби від 8 до 12 % води, що циркулює в системі.

Визначення необхідного рівня знесолювання води здійснюють на підставі матеріального балансу втрат солей унаслідок випаровування і краплинного віднесення і надходження солей з водою, що додається в систему для компенсації втрат зворотної води.

Для вирішення завдання зм'якшування очищених стічних вод застосовують Na-катіонування. Якщо разом зі зм'якшуванням необхідно також зменшення загального солевмісту води, то замість Na-катіонування або спільно з ним застосовують H-катіонування води.

Часткова або глибока демінералізація води досягається послідовним іонним обміном на катіоніті в H^+ -формі й аніоніті у OH^- -формі.

Знесолювання і зм'якшування очищених стічних вод дає змогу багато разів використовувати їх як технічну воду в більшості технологічних і теплообмінних процесів. Разом зі скороченням споживання свіжій прісної води підприємством при цьому створюється реальна можливість організації замкненого циклу промислового водопостачання, що виключає скид стічних вод у водоймища. Застосування іонного обміну для цих цілей потребує зміни технології регенерації іонообмінних смол, оскільки на звичайних іонообмінних установках кількість солей, а також кислот і лугів, що скидаються з промивними водами, у декілька разів перевищує кількість солей, що вилучають у процесі її знесолювання. Отже, іонообмінна технологія демінералізації води може стати безвідходною тільки за умови економічно доцільної утилізації всіх відпрацьованих розчинів і забруднених промивних вод.

Зазвичай регенерацію здійснюють 5 %-вими розчинами кислот і лугів. Проте необхідність повної утилізації відпрацьованих розчинів при коректуванні сольового складу води зворотних замкнених (безстічних) систем водопостачання змушує переходити до використання малих об'ємів концентрованих розчинів, застосовуючи для регенерації катіонітів азотну кислоту, а для регенерації аніонітів – аміак.

Отже, безвідходність процесу підготовки підживлювальної води з біологічно очищених стічних вод забезпечується багаторазовим регенеруванням активованого вугілля та використанням для регенерування іонообмінних смол концентрованих розчинів азотної кислоти та аміаку замість звичайних розбавлених розчинів сірчаної кислоти та гідроксиду натрію. Така заміна реагентів разом із порційною технологією регенерування іонообмінних фільтрів дає змогу утилізувати відпрацьовані регенераційні розчини у вигляді добрив.

Класичні прямоточні установки іонного обміну, що широко застосовуються для зм'якшення та знесолення води з нерухомим шаром смоли мають певні принципові недоліки. Працюють вони періодично, оскільки із насиченням смоли установку відключають на регенерацію. При прямоточній регенерації реагенти використовуються недостатньо повно, тому витрата їх вище. Унаслідок неповного використання реагентів іонообмінне завантаження регенерується тільки частково, що призводить до підвищеного проскоку іонів і у такий спосіб до погіршення ступеня очищення води.

Великі масштаби станцій для іонообмінного коректування мінерального складу підживлювальної води навіть в умовах безстічних замкнених систем зворотного водопостачання змушують добиватися інтенсифікації іонообмінного процесу шляхом заміни періодичної апаратури іонообмінними установками безперервної дії.

Однією з останніх конструкцій широко розповсюджених фільтрів періодичної дії є *фільтр змішаної дії ФСД*. Він становить частково видозмінений вертикальний фільтр періодичної дії, який завантажують аніонітом і катіонітом у співвідношенні 1:2, після чого зерна смоли перемішують повітрям. При пропусканні через нього води відбувається глибоке знесолювання її та знекремнення. Проте для таких фільтрів важко підібрати відповідний гранулометричний склад і підготувати рівномірно перемішану шихту. Неоднорідність шихти призводить до зниження динамічної змінної ємкості та впливає на якість фільтрату.

Вживання *апаратів безперервного іонного обміну* дає можливість кардинально вирішити низку головних завдань водопідготовки, а саме:

- проводити іонообмінні процеси в умовах, близьких до оптимальних, інтенсифікувати процеси очищення води шляхом вживання високих швидкостей фільтрування (до 75 м/год);
- істотно знизити витрати реагентів і відмивної води;
- знизити вартість і поліпшити якість фільтрату;
- знизити капітальні витрати на 20–40 % шляхом зменшення габаритів фільтрів, будівель і зменшення кількості арматури і іонообмінних матеріалів.

Використання апаратів безперервної дії дає змогу повністю автоматизувати технологічний процес іонообмінного коректування сольового складу води, отже, поліпшити умови праці, підвищити продуктивність установки, скоротити чисельність обслуговуючого персоналу. Найбільшою перевагою процесу безперервного іонообмінного очищення води є безперервне відновлення працездатності іонообмінного матеріалу, що дає змогу отримувати у декілька разів більшу кількість очищеної води.

Загальним принципом роботи апаратів безперервної дії є те, що іонообмінний матеріал послідовно проходить зони робочої, регенераційної і відмивочної частин установки. Різке зменшення об'єму іоніту внаслідок його багатократного використання при безперервній циркуляції створює умови для зниження вартості очищення води.

Установки безперервного іонного обміну (далі – УБІО) можна класифікувати за такими ознаками:

- за принципом дії – на безперервні й напівбезперервні;
- за напрямом руху іоніту і середовища – на протиточні та прямоточні;
- за станом завантаження в робочій і регенераційних зонах фільтру – з гідравлічно стислим і зваженим шаром;

Перші апарати УБІО конструювали з використанням зваженого шару іонообмінного матеріалу. У цих апаратах іоніт рухається назустріч оброблюваній воді або регенераційному розчину під дією сили тяжіння частинок.

Апарати для безперервного іонування води бувають різних типів - колонні, барабанні, стрічкові, дискові, шнекові тощо. Найбільшого поширення набули апарати колонного типу, які є ефективними й універсальними. Для транспортування іонообмінного матеріалу в УБІО використовують механічні, гідравлічні та пневматичні способи. Одним із найвдаліших апаратів, що працюють за цим принципом, є установка напівбезперервної дії, в якій процеси сорбції та регенерації відбуваються в зваженому шарі при дотриманні протитечії в окремих колонах.

Широкого розповсюдження та промислового впровадження набули апарати, в яких іонообмінний матеріал переміщається періодично, а процеси іонного обміну відбуваються на фіксованих, гідравлічно стислих шарах при протиточному русі води, смоли та реагенту. Такі фільтри є напівбезперервними, але іонний обмін у них практично здійснюється безперервно. Апарати цього типу мають велику ефективність і відрізняються гнучкістю в експлуатації. Недоліком їх є необхідність періодичних зупинок для переміщення іоніту.

Широко розповсюджений метод *напівбезперервного протиточного іонного обміну*, розроблений японською фірмою «Асахи», застосований в установці безперервної дії, що складається з трьох окремих колон, – сорбції, регенерації та відмивання - і в якій іоніт транспортують гідравлічним способом, що призводить до меншого руйнування його частинок. Кожну колону установки розраховують відповідно до вимог для здійснення оптимального режиму процесів сорбції, регенерації або відмивання. При зміні витрати або вмісту домішок у воді змінюється швидкість введення реагентів. Сорбційна і регенераційна колони мають спеціальний пристрій для забезпечення рівномірного розподілу потоків рідини в шарі іоніту.

Капітальні витрати на установку безперервного іонообмінного очищення води порівняно з установкою періодичної дії знижуються на 25–35 %, експлуатаційні витрати – на 25-40 %, витрати на іоніти – на 40 %, економія площі становить 20–30 %. Скорочуються витрати кислоти і лугу на регенерацію іоніту в установці безперервної дії. Кількість завантажуваних іонітів скорочується більш ніж у два рази.

На основі цих апаратів розроблені *фільтри безперервної дії зі змішаним шаром іонітів*. Такі УБІО складаються з декількох іонообмінних колон, що обслуговуються двома регенераторами (один – для катіоніту, другий – для аніоніту), а також розділово-промивальної колони для виведення суспензії та розділення іонітної суміші з необхідними мірними і змішувачами бункерами, регулювальниками витрати рівня, насосами-дозаторами кислоти і луги. Процес автоматизований за допомогою реле часу і керованих клапанів. Відмітною особливістю цієї установки є наявність розділово-промивальної колони і поєднання процесів регенерації та відмивання в одній колоні. Технологічний процес у колоні сорбції відбувається в гідравлічно стислому, а в останніх – у псевдозрідженому шарі.

Головні недоліки установок безперервної дії зі змішаним шаром іонітів полягають в труднощі регулювання висоти шару іонітів в розподільній колоні, закупорюванні сіток збірно-розподільних пристроїв і періодичності подачі

фільтрату. В апаратах виникають великі перепади тиску, поштовхи та гідравлічні удари. Не дивлячись на ці недоліки, установки дають можливість отримати воду високої якості при малих експлуатаційних і капітальних витратах. Переваги УБІО особливо помітні при зм'якшуванні високомінералізованої води, у процесі використання установок високої продуктивності, у випадках ускладнень зі скиданням стоків при значних коливаннях у складі вихідної води, а також при хімічних процесах, в яких важлива економія реагентів і відсутність розбавлення продукту. Висока економічність і ефективність безперервного процесу іонування роблять перспективним його широке використання при виборі схем обробки води.

Питання для самоперевірки

1. Стабілізація зворотної води за допомогою продувки.
2. Як здійснюють стабілізацію зворотної води в замкнених (безпродувочних) системах?
3. Як визначають іонний склад підживлюючої води при замкненому зворотному водопостачанні?
4. Які методи застосовують для коректування мінерального складу води, призначеної для підживлення замкнених зворотних систем? Чи достатньо тільки реагентного зм'якшення води?
5. Які апарати застосовують для іонообмінного коректування мінерального складу підживлювальної води?
6. Установки безперервного іонного обміну.
7. Фільтри безперервної дії зі змішаним шаром іонітів, їх недоліки.

ТЕМА 7 НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Використання біологічно очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання. Вимоги до якості очищених стічних вод, що застосовують для підживлення зворотних систем водопостачання.
2. Технологічні схеми підготовки стічних вод для використання у промисловості
3. Доочищення біологічно очищених стічних вод коагулянтами та активним вугіллям.
4. Зм'якшення та зменшення мінералізації біологічно очищених стічних вод після адсорбційного очищення.
5. Використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

7.1 Використання біологічно очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання. Вимоги до якості очищених стічних вод, що застосовують для підживлення зворотних систем водопостачання

Використання доочищених стічних вод як джерела технічного водопостачання дає змогу значно скоротити потребу підприємства у свіжій

прісній воді й найбільш належно й економічно вирішити завдання захисту водних басейнів від забруднення.

На сьогодні вважається принципово можливим за певних умов використання доочищених міських стічних вод у технічному водопостачанні. При цьому вирішуються два головні завдання:

- зменшується скидання міських стічних вод у поверхневі водоймища, і тим самим покращується їх санітарний стан;
- скорочується або повністю виключається забір свіжої води для технічних потреб.

Відповідно до цього доля стічних вод для підживлення зворотних систем може змінюватися від 5–10 до 100 %.

Можливість використання біологічно очищених міських стічних вод у технічному водопостачанні визначається не тільки технічними й економічними, але і санітарно-гігієнічними вимогами. Санітарно-гігієнічні аспекти проблеми використання міських стічних вод, що доочищують, пов'язані насамперед із їх епідемічною небезпечністю зважаючи на наявність у них господарсько-фекальних стоків.

Здебільшого необхідне додаткове очищення фізико-хімічними методами і знезараження такої води, що може бути досягнуте фільтруванням через шар зернистого завантаження з подальшим хлоруванням фільтрату. Проте і за дотриманням цих умов необхідне певне обмеження для використання біологічно очищених міських стоків у промисловості замість свіжої води, наприклад, недопустимо використання очищених міських стічних вод у харчовій, м'ясомолочній, фармацевтичній промисловостях, де їх вживання може завдати шкоди здоров'ю людей. Доочищені міські стічні води не можна використовувати на підприємствах для поливу території, миття устаткування, у випадках, коли у складі міських стічних вод містяться промислові стоки, що спричиняють появу запаху і забарвлення.

Доочищені міські стічні води доцільно використовувати передусім на водоемких підприємствах, де технологічні процеси не пов'язані з безпосереднім контактом працівників із технічною водою.

У АКХ РСФСР ім. К. Д. Памфілова розроблені рекомендації з основних методів доочищення міських стічних вод при повторному використанні їх у технічному водопостачанні.

У процесі використання очищених стічних вод як основне джерело технічного водопостачання промислових підприємств необхідно, аби якість очищених стоків відповідала вимогам, що ставляться до органічного і мінерального складів води, використовуваної в промисловості для різних технологічних цілей. Максимальна жорсткість води в одних випадках не повинна перевищувати декількох десятків мікрограмів, а в інших – допускається тимчасова жорсткість 2,5–3 мг-екв/л. Допустимий вміст сульфатів зазвичай залежить від загальної жорсткості води і має бути достатньо малим, для того, щоб у теплообмінних системах не утворювалися відкладення гіпсу.

При підвищеному вмісті у воді солей кальцію або магнію в технологічну схему доочищення стічних вод доводиться вводити зм'якшування.

Жорстке дотримання вимог до усунення з підживлювальної води солей, що містять біогенні елементи (азот і фосфор), або виключення одного з них є надійною гарантією запобігання розвитку біологічних обростань у теплообмінних системах. Основним критерієм придатності води для зворотного водопостачання (окрім систем, в яких використовують глибоко знесолену воду) є термостабільність, що забезпечує відсутність інкрустації трубопроводів і теплообмінних поверхонь карбонатом кальцію та основними солями магнію, що кристалізуються у разі порушення вуглекислотної рівноваги. За умов високої мінералізації стічних вод і великої загальної жорсткості води термостабільність води визначається також вмістом іонів SO_4^- настільки малим, аби при зміні температури води вміст CaSO_4 залишався значно менше за його розчинність.

Корозійна активність зворотної води визначається загальною мінералізацією, значенням рН, концентрацією сульфатів і хлоридів і кількістю розчиненого кисню. Що стосується допустимого вмісту органічних речовин в очищених стічних водах, використовуваних для зворотного водопостачання, то за відсутності обмежень окремих виробництв значення ХПК води не повинне перевищувати 15 мг/л. За умов більшого вмісту цих речовин посилюється біологічне обростання у зворотних системах, а інколи і посилюється біологічне обростання, а інколи й корозія сталі та бетону.

Унаслідок адсорбційного доочищення біологічно очищених стічних вод сформульовані вимоги до якості доочищених стічних вод. Вода після доочищення повинна містити суспензій менше за 3 мг/л, фосфатів – 4 мг/л PO_4^{3-} , поверхнево-активних речовин у перерахунку на алкілбензолсульфонат – 0,25-0,5 мг/л; БПК₅ повинно становити 2 мг/л. Вміст органічних речовин враховують за БПК₅. Це пов'язано з тим, що обмеження концентрації органічних речовин обумовлене лише вимогами до біообростання, але не до корозії, або особливостями подальшої обробки води. Орієнтовний перерахунок цих даних на ХПК дає граничне значення – 8-10 мг O_2 /л. Ці вимоги до очищеної стічної води можуть бути справедливими і для підживлення зворотних систем, що працюють без продувки.

Додатковою та дуже істотною умовою при підготовці стічних вод для підживлення безстічних (замкнених) зворотних систем є постійність загального солевмісту і співвідношення концентрації різних аніонів, що дає змогу відмовитися від скидання вод із продувкою теплообмінних систем.

У звичайних зворотних системах промислового водопостачання потреба у воді задовольняється за допомогою додавання свіжої води з природних джерел, яка проходить необхідне очищення і коректування складу. У безстічних (замкнених) системах водопостачання підприємств замість свіжої води використовують доочищену до норм якості технічної води суміш промислових і побутових стічних вод, що попередньо пройшли біологічне очищення, або промислові стоки після достатньо глибокого локального фізико-хімічного очищення.

Обов'язковою умовою застосування доочищених міських стічних вод є їх хлорування.

Можливості повторного використання біологічно очищених стічних вод на підприємствах різних галузей промисловості неоднакові, і відповідно до цього істотно розрізняється необхідна міра складності додаткового очищення і підготовки води для технічних потреб.

У разі використання очищених стічних вод як теплоносія для доочищення рекомендують такі методи: освітлення на швидких фільтрах при швидкості фільтрації 7–8 м/год (завантаження – пісок з крупністю зерен 1–2 мм і товщиною шару 1–1,5 м); освітлення на двошарових фільтрах при швидкості фільтрації 9–10 м/год (завантаження – пісок з крупністю зерен 0,8–1,4 мм і товщиною шару 0,5 м, а також антрацит крупністю зерен 1–2 мм і товщиною шару 0,5 м); фільтрація на контактних освітлювачах типа КО-3 при швидкості 8–9 м/год, завантаження – пісок із крупністю зерен 1–2 мм і товщиною шару 1,5 м); фільтрація на мікрофільтрах при швидкості 25–30 м/год (розмір отворів – 40 мкм). Фільтри промивають водою протягом 5–7 хв. Інтенсивність водяного промивки становить 15–16 л/с×м². Витрата промивної води – 5–6% фільтрованої витрати. Контактні фільтри типу КО-3 продувають повітрям протягом 1–1,5 хв. при інтенсивності 18–20 л/с×м², потім одночасно продувають повітрям при інтенсивності 12–20 л/с×м² і промивають водою при інтенсивності водяного потоку 2–3 л/с×м² протягом 6–7 хв.; після цього промивають водою інтенсивністю 6–7 л/с×м² протягом 4–5 хв. Витрата промивної води в цьому разі скорочується на 2,5–3 %. Як при водяній, так і при водоповітряній промивках 1–2 рази в рік фільтри промивають хлорованою водою з концентрацією хлору 200 мг/л. У всіх випадках необхідно виконувати знезараження очищених стоків хлоруванням дозами 5–10 мг/л. Вживання цього методу доочищення забезпечує зниження вмісту зважених речовин на 55–75 % і БПК – на 25–50 %.

Під час використання очищених стічних вод як поглинального середовища застосовують освітлення, а у разі необхідності – мікрофільтрацію. Знезараження очищених стоків здійснюють хлором дозою 10 мг/л.

Загалом використання біологічно очищених стічних вод для підживлення зворотних систем теплообмінного водопостачання або систем гідротранспорту матеріальних потоків не вимагає складної додаткової підготовки води, якщо не передбачається повне замикання циклу без скиду стічних вод з продувкою зворотних систем. Додаткова підготовка біологічно очищених стоків повинна забезпечити практично повне видалення органічних речовин, сполук, що містять біогенні елементи, а також солей жорсткості і забезпечити збереження солевмісту у зворотній воді на постійному рівні.

7.2 Доочищення біологічно очищених стічних вод коагулянтами та активним вугіллям

Фільтрування біологічно очищених стічних вод було одним з перших технічних прийомів отримання води, придатної для технічного водопостачання промислових підприємств. У нашій країні та за кордоном побудовані й експлуатуються досить багато фільтрувальних станцій, що обумовлене насамперед простотою та надійністю роботи фільтрувальних споруд, а також невисокою собівартістю такого очищення. Однак простим фільтруванням зі

стічних вод не вдається видалити колоїдні, і більше того, розчинені забруднення. Унаслідок стічні води, доочищені тільки фільтруванням в системах технічного водопостачання знаходять обмежене застосування. Зокрема, такі води не можуть використовуватися для підживлення повністю замкнених циклів зворотного водопостачання.

Як методи доочищення стічних вод застосовують мікрофільтрацію, фільтрацію через зернисті матеріали, відстоювання з коагуляцією, флотацію з використанням реагентів або без них, біологічне окислення в ставках із природною або штучною аерацією, сорбцію, окислення, методи видалення азоту і фосфору.

Повторне використання біологічно очищених виробничих стічних вод у технологічних процесах визначається вимогами, що ставляться до води.

У біологічно очищених стічних водах містяться високомолекулярні органічні речовини, які сорбували на поверхні пластівців гідроокисів алюмінію та заліза, і тому їх можна видалити зі стічних вод коагулянтами. Вживання алюмінієвого і залізного коагулянтів дає змогу істотно знизити ХПК і кольоровість біологічно очищених міських стічних вод. Проте при цьому витрачається значна кількість коагулянтів. Зниження ХПК на 50 % досягається лише при дозі коагулянту не менше 200 мг/л із розрахунку на товарний продукт. Варто врахувати, що до коагуляції стічні води характеризувалися такими показниками: ХПК – 31 мг O_2 /л, кольоровість – 43 град, лужність – 4,9 мг-екв/л. У багатьох міських стоках ХПК біологічно очищених стічних вод перевищує це значення ХПК у 3–4 рази (120–150 мг/л). Мабуть, питома витрата коагулянтів для зниження ХПК до 15 міліграма мг/л виявиться значно вищою. При підвищенні дози сульфату алюмінію до 200 мг/л і більше ХПК знижується на 50–55 %, а кольоровість на 60–70 %. Той самий ефект досягається при вживанні в 2 рази менших доз хлорного заліза. Проте вживання цього коагулянту ускладнене тим, що його розчин володіє високою агресивністю через присутність соляної кислоти, що утворюється при його гідролізі.

Оскільки ХПК певною мірою характеризується загальним вмістом органічних речовин у воді, а забарвлення біологічно очищених стічних вод обумовлене переважно високомолекулярними та заліза, то обробка води коагулянтом звільняє стічні води переважно від високомолекулярних органічних сполук, залишаючи в розчині низькомолекулярні речовини. Загалом під час вирішення питання про доцільність вживання коагулянтів для доочищення стічних вод з метою їх повторного використання в замкнених системах промислового водопостачання необхідно мати на увазі, що відходами установок для очищення води коагулянтами є шлами, утворені пластівцями сильно забруднених гідроокисів алюмінію або заліза, що осіли. Вологість цих шламів перевищує 98 %. Об'єм їх при великих дозах коагулянту становить 3–5% об'єму проясненої води. Фільтруються такі шлами дуже погано. Для цього краще за інших придатні фільтри ФПАКМ, але в таких випадках варто застосовувати допоміжні фільтрувальні матеріали. Вологість осаду після фільтрації – не нижче 80 %. У безстічних і безвідходних системах

водопостачання підприємств вживання коагулянтів у кожному конкретному випадку пов'язане з можливістю утилізації шламів, їх ліквідації або регенерації з них коагулянтів.

Негативною рисою вживання коагулянту в системах доочищення стічних вод є невелика швидкість руху води у відстійниках (не більше 3–4 м/год), що вимагає великих габаритів очисних споруд на стадії освітлення біологічно очищених стоків. В окремих випадках, проте, доцільно вводити доочистку стічних вод коагулянтами перед завершальною стадією видалення органічних забруднень стічних вод адсорбцією. При цьому досягається значне скорочення питомих витрат активного вугілля, але з'являються додаткові витрати на ліквідацію шламів. Отже, у кожному конкретному випадку рішення має бути прийняте на підставі ретельного техніко-економічного аналізу.

При доочищенні міських стічних вод попереднє освітлення біологічно очищених стоків коагулянтом дає змогу скоротити витрату активного вугілля в 3–4 рази. Тому раціональне вирішення задачі ліквідації або утилізації шламів, що утворюються при освітленні стічних вод, дало б істотний економічний ефект.

Таблиця 7.1 – Вплив попередньої обробки біологічно очищених міських стічних вод сульфатом алюмінію на питому витрату активного вугілля при доочищенні стоків від органічних речовин

Кольоровість, град	ХПК стоків, мг/л	Питома витрата активного вугілля, кг/м ³		Зниження Питокої витрати активного вугілля, %
		без попередньої коагуляції стоків	після попередньої коагуляції	
10	10	5	0,9	82
15	13–14	3	0,75	75

Примітка. Доза коагулянту $Al_2(5O_4)_3 \cdot 18H_2O$ становила 200 мг/л.

Вживання коагулянтів перед адсорбційним доочищенням біологічно очищених міських стічних вод дає змогу істотно знизити вміст у воді фосфатів, що особливо важливе для запобігання інтенсивному біологічному обростанню зворотних систем, підживлюваних міськими стоками.

Застосування активного вугілля для глибокого очищення стічних вод від органічних речовин

За умов порівняно невисокого вмісту органічних речовин в стічній воді та їх обмежених розчинності вживання адсорбентів, насамперед активного вугілля, у багатьох випадках дає найвищий ефект. У таких локальних адсорбційних установках, що розміщуються безпосередньо на тих ділянках виробництва, де

утворюються стоки, поєднується повернення продуктів, що витягують зі стічних воді з регенерацією поглинальної здатності адсорбенту. Регенерація адсорбенту створює можливість його багатократного використання, інколи протягом декількох років, що істотно підвищує економічність процесу очищення.

Локальні адсорбційні установки застосовуються і в тих випадках, коли в стічних водах міститься суміш речовин, що включає біохімічно стійкі або високотоксичні компоненти. Такі стічні води без локального очищення не можна подавати на загальнозаводські або міські біологічні очисні споруди, оскільки токсичні компоненти спричиняють порушення нормального перебігу процесів біологічного окислення або проходять через споруди біологічного очищення без руйнування.

Якщо адсорбент поглинає зі стічних вод усі органічні компоненти, то стічні води після локальної адсорбційної установки можна повертати в технологічний процес або використовувати для підживлення найближчої зворотної теплообмінної системи за умови, що солеміст і рН цих вод не перешкоджають цьому.

Для ефективного очищення водних розчинів адсорбенти повинні найслабше взаємодіяти з молекулами води при високій енергії взаємодії з витягуваними органічними речовинами. Ці властивості характерні для гідрофобних вуглецевих матеріалів, до яких відноситься активне вугілля.

Мінеральні адсорбенти – силікагелі, алюмогелі, глинисті мінерали які є гідрофільними матеріалами, що володіють високою енергією є взаємодії з молекулами води.

Глибоке очищення стічних вод методом сорбції активними вуглецьвміщуючими сорбентами в комплексі з механічним, фізико-хімічним або хімічним очищенням дає змогу видалити зі стічних вод органічні біохімічно неокислювані розчинені домішки. При цьому з води, що очищається, можна видалити органічні забруднення до практично нульових залишкових концентрацій. І, нарешті, при регенерації відпрацьованого активного вугілля не утворюються шкідливі відходи.

Адсорбційне очищення стоків активованим вугіллям є найбільш універсальним методом глибокого доочищення біологічно очищених міських і промислових стічних вод від органічних речовин а також забезпечує можливість подальшого знесолювання стічних вод і коректування їх мінерального складу відповідно до технологічних вимог конкретних виробництв.

7.3 Технологічні схеми підготовки стічних вод для використання у промисловості

Глибоке очищення досягається шляхом поєднання реагентної обробки стічних вод з адсорбційним ступенем очищення – фільтрування стічних вод через активоване вугілля. За необхідності витягування зі стічних вод з'єднань азоту технологічні схеми доповнюють ступенем очищення, заснованим на

одному з фізико-хімічних методів (іонний обмін, віддувка, окислення) або біологічному процесі нітрифікації-денітрифікації.

У технологічних схемах більшості станцій глибокої доочищення біологічно очищених стічних вод, що діють, і проєктованих, передбачається попереднє оброблення води вапном для видалення найбільшої маси колоїдних органічних речовин і аміаку, рекарбонізація і осадження карбонату кальцію, фільтрування через фільтри із зернистим завантаженням. Потім здійснюється адсорбційне очищення води активним вугіллям для максимального видалення низькомолекулярних розчинених органічних забруднень і знезараження води хлором. У деяких випадках до складу споруд, зважаючи на характер забруднень біологічно очищених стічних вод, додатково включають установки флоатації для видалення поверхнево-активних речовин.

Спрощену принципову технологічну схему такої установки наведено на рисунку 7.1.

Для адсорбційного очищення стічних вод на різних установках використовують апарати з рухомим, нерухомим або псевдорідким шаром, а також цілі комплекси споруд для очищення води порошкоподібним активованим вугіллям. Застосування того чи іншого різновиду апаратурного оформлення адсорбційного процесу, як і методу регенерування відпрацьованого активованого вугілля, може вносити певні зміни у послідовність окремих технологічних операцій, але загалом технологічна схема глибокого доочищення стічних вод не зазнає істотних змін.

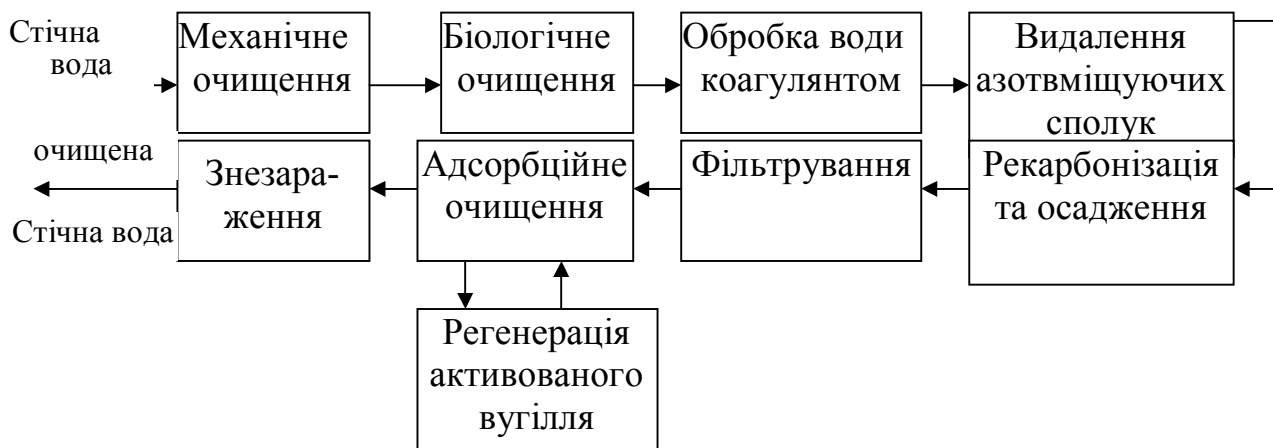


Рисунок 7.1 – Технологічна схема установки глибокого очищення стічних вод із використанням адсорбційних методів вилучення органічних забруднень

Якість отриманої очищеної води дає змогу застосовувати її для різних виробничих цілей, підживлення систем зворотного водопостачання промислових підприємств, а також для сільськогосподарського зрошення.

Нині час найбільш розробленим є процес сорбції розчинених органічних речовин з очищених стічних вод гранульованим активним вугіллям.

Основними вузлами технологічної схеми обробки стічних вод активованим вугіллям є адсорбери, що забезпечують його контакт зі стічними водами, і система гідравлічного переміщення вугілля, за допомогою якої

відпрацьоване вугілля подається в піч на регенерацію. Регеноване вугілля повертається назад в адсорбер.

Застосовують адсорбери двох типів – з висхідним і низхідним напрямом фільтраційного потоку (з рухливим або щільним нерухомим завантаженням).

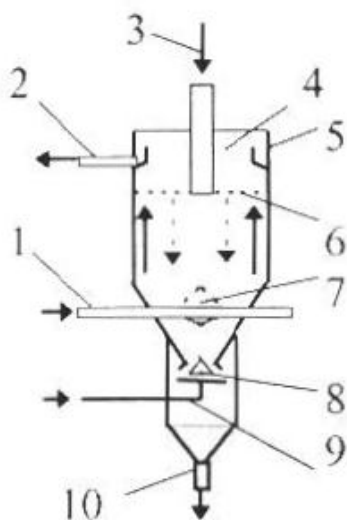


Рисунок 7.2 – Адсорбер із рухливим шаром завантаження:

1 – подача стічних вод на очищення;
2 – відведення очищеної води; 3 – подача чистого вугілля; 4 – збірний лоток очищеної води; 5 – корпус адсорбера; 6 – рівень завантаження вугіллям в адсорбері;
7 – розподільувач стічних вод; 8 – клапан вивантаження відпрацьованого вугілля;
9 – дозована подача води для вивантаження вугілля; 10 – відведення відпрацьованого вугілля

За умов висхідного напрямку руху фільтрувальний шар знаходиться в рухливому стані. У цьому разі робота адсорберів заснована на принципі протитечії, до того ж цьому вода рухається від знизу догори, а вугілля назустріч. Відпрацьоване вугілля безперервно видаляється в нижній частині адсорбера, а зверху додають свіже (регенероване) вугілля. Як фільтрувальний матеріал, у практиці очищення води застосовують вугілля АГ-3, АГ-2, АГ-5 тощо.

Адсорбери з рухливим шаром завантаження ефективніші для доочищення стічних вод із невеликим вмістом зважених речовин на станціях невеликої продуктивності. На очисних станціях великої продуктивності більш економічними є адсорбери з нерухомим завантаженням.

Стічні води з ХПК >150 мг/л доочищаються в колонних адсорберах відкритого або напірного типів діаметром не більше 5 м і заввишки менше 12 м. При доочищенні стічних вод в адсорберах з нерухомим шаром завантаження швидкість потоку води приймається 4-10 м/год, втрати напору при цьому становить 40–60 % від висоти завантаження. При доочищенні стічних вод із концентрацією зважених речовин більше 10 мг/л значно зростають втрати напору і погіршується якість фільтрату. Аби забезпечити глибоке доочищення при одночасно повному використанні адсорбційної ємності вугілля в адсорберах із нерухомим завантаженням, стічні води пропускають послідовно через декілька груп адсорберів, які паралельно працюють.

При сорбційному доочищенні стічних вод необхідно попередньо освітлювати воду, аби понизити навантаження на сорбент. Глибоке освітлення вод покращує кінетику сорбції, значно подовжує термін служби активного вугілля, полегшує його подальшу регенерацію. Здебільшого для прояснення

біохімічно очищених стічних вод перед надходженням на адсорбери піддаються очищенню на зернистих фільтрах.

Варто зазначити також, що залежно від марки, дисперсності використовуваного активного вугілля, апаратурного оформлення адсорбційного очищення води і характеру витягуваних зі стічних вод забруднень технологія регенерації відпрацьованого адсорбенту може бути різною.

7.4 Зм'якшення та зменшення мінералізації біологічно очищених стічних вод після адсорбційного очищення

Використання очищених стічних вод для промислового водопостачання підприємства залежно від призначення технічної води пов'язане з більш-менш глибоким зм'якшуванням води, зниженням її мінералізації до певного рівня або практично з повним знесолюванням води.

Найчастіше в промисловості реалізують схеми оборотного водопостачання, в яких вода не забруднюється, а підігріта в теплообмінних апаратах охолоджується на градирнях, у бризкальних басейнах чи інших пристроях і знову повертається в теплообмінники. При цьому вода багаторазово і послідовно зазнає фізико-хімічного впливу (випаровується, підігрівається, охолоджується, втрачається під час випаровування тощо) і поступово стає більш мінералізованою.

Унаслідок цього стабільність зворотної води порушується, вода стає корозійно активною або здатною до відкладання мінеральних солей. Через це для поповнення втрат зворотної води та відновлення її якості в систему додають підживлювальну воду. При цьому для запобігання підвищенню загального солевмісту у зворотній воді застосовують «продувку» системи, тобто скид частини води. Однак з економічного та екологічного погляду доцільніше створювати системи замкненого водопостачання (тобто такі, що працюють без «продувки») на основі повторного використання глибоко очищених та частково знесолених стічних вод.

Такі системи, в яких підтримується тривалий час постійний склад води, отримали назву замкнених зворотних циклів. Підживлення їх свіжою водою здійснюється тільки в кількостях, необхідних для компенсації втрат унаслідок випаровування, віднесення дрібних крапель води з вітром на градирнях і інших неминучих виробничих втрат. Сума всіх цих втрат зазвичай не перевищує 1–2%, тоді як у вигляді стабілізаційного скиду зі звичайних зворотних систем виводиться від 6 до 10 % зворотної води, і отже, для компенсації втрат води необхідно вводити в систему щодоби від 8 до 12 % води, що циркулює в системі.

Визначення необхідного рівня знесолювання води здійснюють на підставі матеріального балансу втрат солей унаслідок випаровування і краплинного віднесення, втрат зворотної води у виробничих процесах і надходження солей із водою, що вводиться в систему для компенсації втрат зворотної води.

Для підживлення зворотних систем теплообмінного водопостачання інколи достатньо усунути карбонатну жорсткість води. Загалом потрібно

скоректувати їх іонний склад так, щоб не тільки запобігти утворенню карбонатних відкладень, але також виключити відкладення гіпсу і накопичення розчинних солей у зворотній воді, не удаючись до так званого стабілізаційного скидання частини зворотної води з системи для заміни її менш мінералізованою.

Усунути скидання води з продувкою оборотних систем і перетворити тим самим систему зворотного водопостачання на замкнену, а також отримати технічну воду, придатну для будь-яких промислових потреб, дають змогу адсорбційно-іонообмінні установки доочищення стічних вод.

У системах замкненого водопостачання на основі повторного використання очищених стічних вод необхідне коректування сольового складу води досягається послідовним Н-катіонуванням і ОН-аніонуванням стічної води після адсорбційного доочищення. Залежно від обраної технологічної схеми водопідготовки і вимог до сольового складу підживлювальної води оброблення методом іонного обміну може піддаватися вся вода, яка пройшла через адсорбційні колони, або частина її з подальшим змішуванням знесоленої і не знесоленої води.

Знесолювання і зм'якшування очищених стічних вод дає змогу багаторазово використовувати їх як технічну воду в більшості технологічних і теплообмінних процесів. Разом зі скороченням споживання свіжої прісної води підприємством при цьому створюється реальна можливість організації замкненого циклу промислового водопостачання, що виключає скид стічних вод до водоймищ.

На рисунку 7.3 наведено схему адсорбційно-іонообмінні установки доочищення стічних вод.

Ця схема включає такі етапи оброблення води: адсорбційне доочищення біологічно очищених стічних вод, яке забезпечує зниження ХПК до 8–16 г O_2 /м³; вилучення з очищеної водипилу активованого вугілля та інших завислих речовин відстоюванням та фільтруванням; Н-катіонування адсорбційно очищеної води для вилучення з неї катіонів жорсткості; зменшення вмісту іонів лужних металів та амонію; віддувка оксиду вуглецю (IV) з Н-катіонованої води в дегазаційних колонах; ОН-аніонування води для вилучення аніонів сульфатів, фосфатів, зниження вмісту хлоридів та нейтралізації кислотності Н-катіонованої води.

Використання глибоко очищених та частково знесолених стічних вод за цією схемою дає можливість усунути скид води з продувкою зворотних систем і перетворити тим самим систему оборотного водопостачання на замкнену, а також отримати технічну воду, придатну для будь-яких промислових потреб.

Вживання іонного обміну для цих цілей вимагає, проте, зміни технології регенерації іонообмінних смол, оскільки на звичайних іонообмінних установках кількість солей, а також кислот і лугів, що скидаються з промивними водами у декілька разів перевищує кількість солей, що витягують при її знесолюванні. Отже, іонообмінна технологія демінералізації води може стати безвідходною тільки за умови економічно доцільної утилізації всіх відпрацьованих розчинів і забруднених промивних вод.

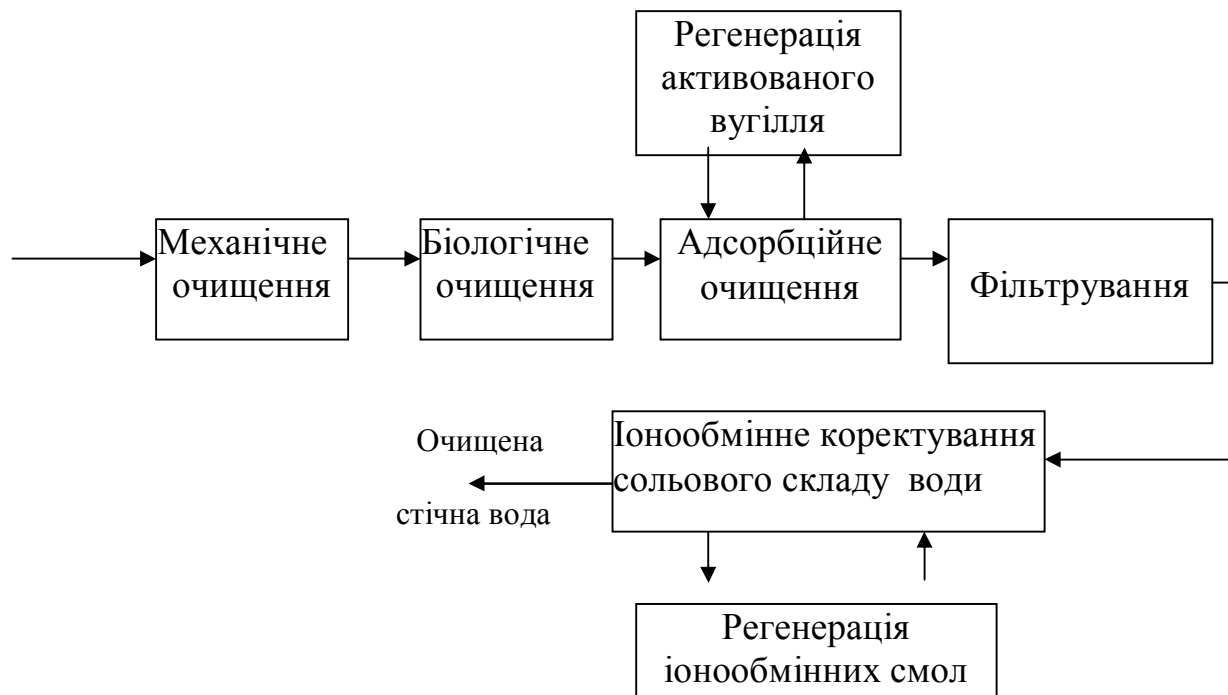


Рисунок 7.3 – Технологічна схема адсорбційно-іонообмінної установки доочищення стічних вод

Регенерація смол, тобто витиснення з них катіонів металів (катіонів твердості) й аніонів солей (SO_4^{2-} і Cl^-) іонами H^+ і OH^+ , можлива за умови зміщення динамічної рівноваги обміну у зворотному напрямку, а саме при застосуванні надлишку регенеруючих іонів. Зазвичай регенерацію здійснюють 5 %-вими розчинами кислот і луг. Однак необхідність повної утилізації відпрацьованих розчинів під час коректування сольового складу води оборотних замкнених (безстічних) систем водопостачання призводить до необхідності переходити до використання малих обсягів концентрованих розчинів, застосування для регенерації катіонітів азотної кислоти, а для регенерації аніонітів – аміаку. При цьому регенераційні розчини легко можна переробити на азотні добрива.

Безвідходність процесу підготовки підживлювальної води з біологічно очищених стічних вод забезпечується багаторазовим регенеруванням активованого вугілля та використанням для регенерування іонообмінних смол концентрованих розчинів азотної кислоти та аміаку замість звичайних розбавлених розчинів сульфатної кислоти та гідроксиду натрію. Така заміна реагентів разом з порційною технологією регенерування іонообмінних фільтрів дає змогу утилізувати відпрацьовані регенераційні розчини у вигляді добрив.

7.5 Використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання

Поверхневий стік утворюється від атмосферних осадів над площею території ПП. До складу забруднень поверхневого стоку ПП входять речовини,

що визначаються технологічними процесами і, відповідно викидами в атмосферу.

Поверхневий стік становить особливий різновид стічних вод із притаманними тільки йому особливостями формування і режиму надходження у водні об'єкти. По-перше, він є періодичним і в окремих регіонах країни більшу частину року відсутній. Обсяг і рівень його забруднення змінюються в широких межах і залежать від кліматичних умов (інтенсивність і тривалість дощу, частота його випадіння, кількість опадів, тривалість періоду сухої погоди), а також від санітарного стану басейна водозбору (рівня благоустрою, типу поверхневого покрову, ступеня забрудненості території і атмосфери тощо). Не менш важливим, є і той факт, що більша частина поверхневого стоку з території міст і промислових підприємств надходить у водні об'єкти в періоди підвищеної водності.

Отже, поверхневий стік становить надзвичайно нестабільну полідисперсну систему зі значними коливаннями складу й концентрації забруднень. Йому властиві раптовість і періодичність виникнення, велика нерівномірність наростання і спаду витрат.

Поверхневий стік із майданчиків промислових підприємств становить складну суміш сполук і речовин, оскільки на їх якісний склад істотно впливає культура виробництва на підприємстві, особливості технологічних процесів, організація складського господарства. Здебільшого саме ці чинники визначають склад і концентрацію домішок стоку.

Варто зазначити, що поверхневий стік буває організований і неорганізований. Існує три системи організованого відведення поверхневих стічних вод: закрыта, відкрита і змішана. Закрита система відповідає високому рівню благоустрою і санітарним вимогам, проте має досить високу вартість будівництва. Згідно з цією системою, поверхневі води відводять із території за допомогою підземної системи трубопроводів – міської водостічної мережі (зливної каналізації).

Відкрита система водовідведення допускається в дачних місцях і селищах як перший етап благоустрою, а також за певних умов на територіях житлових мікрорайонів і зелених насаджень у містах. Вона складається з лотків, кюветів, канав і характеризується простотою виконання робіт із невеликими витратами будівельних матеріалів і коштів. Проте відкрита система має низку істотних недоліків: порівняно малу пропускну здатність, унаслідок чого збільшується ширина вулиці, оскільки потрібне облаштування переїзних містків або прокладання водопропускних труб, зменшується безпека руху пішоходів і транспорту та погіршується санітарний стан.

Під час організації поверхневого стоку часто застосовують змішану систему водовідведення, за якої на вулицях і в центральній частині міста роблять закриту водостічну мережу, а на решті території – відкриту. Міські водостоки складаються із водоприймальних колодязів, з'єднувальних гілок, водостоків або колекторів, оглядових колодязів, випусків і спеціальних споруд (компенсаційні колодязі, камери різного призначення тощо). Неорганізований поверхневий стік потрапляє в поверхневі водойми рельєфом місцевості.

Систематичні багаторічні спостереження за якістю поверхневого стоку на промислових майданчиках багатьох підприємств крупних міст країни дає змогу зробити висновок про те, що концентрація забруднень у стоці, що стікає з територій промислових підприємств, набагато вища, ніж у міських стічних водах. Концентрації забруднень, що містяться в поверхневому стоці з територій ПП за величиною прирівняні до вмісту забруднень у виробничих стічних водах. Збільшення концентрації забруднень на водозбірних майданчиках і майданчиках відкритого складування матеріалів може бути результатом інтенсивного вантажного руху (зокрема залізничного транспорту). Особливо високі концентрації забруднювальних речовин у поверхневому стоці властиві металургійним заводам, гірничо-збагачувальним комбінатам, підприємствам будівельної індустрії, автотранспортним, хімічним, машинобудівним і нафтопереробним підприємствам.

Дощові води, що містять переважно мінеральні забруднення, менш небезпечні в санітарному плані, ніж побутові й забруднені виробничі стічні води, через що їх скидають у водойми без очищення. В атмосферні води, що стікають із забруднених територій ПП, іноді надходять домішки, специфічні для певного виробництва, наприклад, хімічних і нафтопереробних заводів, шкіряних підприємств, м'ясокомбінатів тощо. Такі води потрібно піддавати очищенню. Особливо небезпечне надходження у водойми поталих і дощових вод, які містять різні токсичні речовини (метали, нафтопродукти та інші важко окислювальні органічні речовини).

Формування поверхневого стоку відбувається під дією природних і антропогенних факторів. Визначальні фактори – кліматичні умови (атмосферні опади, випаровування під впливом сонячного випромінювання, інфільтрація, рослинний покрив території тощо) і організація водозбірних робіт, технологія миття штучних покриттів, транспортних засобів тощо. Особливо забруднений поверхневий стік формується під час танення снігу й проведення поливально-мийних робіт. Вміст завислих речовин у такому поверхневому стоці досягає $4\text{--}5\text{ кг/м}^3$, вміст нафтопродуктів – до 40 г/м^3 і більше, ХПК – до $1500\text{ г О}_2\text{/м}^3$, БПК_{повн} – $300\text{ г О}_2\text{/м}^3$ і більше.

Склад поверхневого стоку з територій промислових підприємств визначається продукцією, що випускається, технічним рівнем технології виробництва, ефективністю роботи системи пило- і газовловлювання, очищення стічних вод, організацією складування, транспортування та переробки сировини й відходів виробництва, санітарним станом території промислового майданчика.

Залежно від складу поверхневого стоку промислові підприємства поділяють на дві групи. До першої групи належать підприємства, поверхневий стік із території яких не містить токсичних речовин і за своїм складом близький до зливого стоку з районів житлової забудови (підприємства енергетики, чорної металургії, машинобудування, легкої, харчової та електротехнічної галузей промисловості, приладобудівні й нафтопереробні заводи). Решта підприємств належать до другої групи і характеризуються наявністю в поверхневому стоці великої кількості органічних домішок і специфічних речовин (важкі метали, роданіди, аміак, феноли тощо).

Орієнтовний склад поверхневого стоку характеризується такими значеннями:

	Підприємства 1-ї групи	Підприємства 2-ї групи
Завислі речовини, мг/дм ³	500-2000	2000-4000
Мінеральні речовини, мг/дм ³	200-500	—
Нафтопродукти, мг/дм ³	10-30	18-25
ХПК, мг O ₂ /дм ³	200 - 600	—
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	40-60	80-180

При проектуванні систем дощової каналізації ПП необхідно розглядати: можливість ліквідації винесення шкідливих речовин поверхневим стоком з території підприємства; доцільність очищення поверхневого стоку спільно з виробничими й міськими стічними водами; умови використання поверхневого стоку в системах промислового водопостачання. На великих підприємствах, де застосовують різні технологічні процеси, поверхневий стік з окремих ділянок водозбірного майданчика може помітно відрізнятися за складом домішок від стоку з інших ділянок і загального стоку. На це потрібно зважати під час розроблення схеми його відведення й очищення.

Під час розроблення на підприємстві проекту очищення стічних вод склад поверхневого стоку потрібно приймати за даними хімічних аналізів або використовувати дані аналогічних виробництв. Ливневипуски заводів найчастіше розташовані безпосередньо в межах міста, тому вимоги контролювальних органів до якості стоків, що скидають у водоймища, дуже жорсткі. До очищених стічних вод зазвичай ставлять ті самі вимоги, що й до складу і властивостей води водоприймача. Для забезпечення такого глибокого ступеня очищення потрібен складний і дорогий комплекс очисних споруд.

У цих умовах один із раціональних шляхів виключення забруднення водних об'єктів поверхневим стоком із заводської території – використання його після акумуляції та відповідного очищення для технічного водопостачання, наприклад, для підживлення оборотних циклів водопостачання або низки виробництв із прямоточним водопостачанням і подальшим відведенням стічних вод у систему виробничо-побутової каналізації. При вмісті завислих і ефіророзчинних речовин, відповідно, не більше 30 мг/дм³, поверхневий стік може бути використаним майже в усіх технологічних процесах. Якщо поверхневий стік і частина виробничих стічних вод відводяться по одній каналізаційній мережі, необхідно передбачати використання в технічному водопостачанні суміші цих стічних вод.

Відведення поверхневого стоку з території промислових підприємств у водні об'єкти допускається в тих випадках, коли його використання в промисловому водопостачанні опиняється технічно неможливим або економічно недоцільним. При цьому повинні дотримуватися нормативи і вимоги «Правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами», враховуватися особливості хімічного складу стоку й умови його формування. Місця випуску поверхневого стоку у водний об'єкт потрібно погоджувати з органами з регулювання, використання й охорони вод, санітарно-епідеміологічної служби й рибоохорони.

У разі наявності в поверхневому стоці специфічних домішок до випуску його у водний об'єкт ставлять ті самі вимоги, як і до випуску виробничих стічних вод. Під час використання в промисловому водопостачанні якість стоку повинна відповідати вимогам, що ставлять споживачі.

Очищення і використання поверхневого стоку в замкнених системах водопостачання можуть здійснюватися на самостійних очисних спорудах, а також на спорудах, що забезпечуватимуть їх сумісне очищення з господарсько-побутовими або виробничими стічними водами.

Склад очисних споруд визначають залежно від якісної характеристики і необхідного ступеня очищення поверхневого стоку, його розрахункової витрати або кількості, що прямує на очищення з урахуванням можливості очищення або доочищення спільно з виробничими, побутово-виробничими стоками.

Для очищення поверхневого стоку з території промислових підприємств, що не містить специфічних забруднень із токсичними властивостями, можна використовувати самостійні споруди, а також відводити його на міські чи заводські споруди, очищуючи разом із побутовими або виробничими стічними водами.

Найефективнішим вирішенням проблеми запобігання забрудненню водоймищ поверхневим стоком є повторне його використання в системах технічного водопостачання промислових підприємств. Таке рішення часто буває економічно вигіднішим, оскільки скорочується споживання природної води, а також потрібне менш глибоке його очищення порівнянно з варіантом скидання у водоймище. Проте у зв'язку з імовірнісним характером утворення поверхневого стоку потрібна акумулювальна ємність. Отже, повторне використання поверхневого стоку в системі технічного водопостачання, маючи екологічні й у ряді випадків економічні переваги, вимагає зазвичай значних виробничих площ.

Ступінь очищення поверхневого стоку при використанні його в системах технічного водопостачання ПП визначається вимогами до якості технічної води. Як показують розрахунки поверхневого стоку, що формується на території ПП, буде недостатньо для забезпечення технологічних потреб. Цей стік можна використовувати в суміші з річковою водою або очищеними стічними водами. На підприємствах металургійної, нафтопереробної, нафтохімічної, хімічної та деяких інших галузей промисловості, розташованих у кліматичних зонах із середньою річною кількістю опадів 400–600 мм, утворюваний на промайданчиках поверхневий стік сягає до 30 % річного споживання води підприємством. Враховуючи, що вимоги ставляють до загальної витрати використовуваної води на технологічні потреби, ступінь очищення поверхневого стоку визначають відповідно до кількості й якості окремих джерел водопостачання.

Підготовка поверхневого стоку для використання в системах технічного водопостачання повинна забезпечувати не тільки певні вимоги до технологічних властивостей води, але й повну санітарну безпеку для працівників. Санітарно-гігієнічні вимоги полягають у гарантуванні безпечних

епідеміологічних і токсикологічних умов для персоналу. Оскільки в деяких випадках поверхневий стік забруднений бактеріями, під час його використання в системах технічного водопостачання необхідно передбачити можливість знезараження.

Вимоги до ступені очищення поверхневого стоку у разі використання його на технологічні потреби підприємства: за нафтопродуктами – 10-20 мг/л, завислими речовинами – 20-50 мг/л; при скиданні у водоймище нафтопродуктів – 0,3-0,05 мг/л; завислих речовин до 5 мг/л.

На сьогодні на багатьох закордонних заводах поверхневий стік використовують у зворотних системах водяного охолодження і для пожежегасіння, до того ж очищення і підготовка його до використання в цих системах водопостачання обмежується зазвичай відстоюванням у ставках. Показовим прикладом використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання може слугувати нафтопереробний завод (далі – НПЗ). Основна продукція – бензин, дизельне пальне, мазут і бітум. Для максимального затримання атмосферних опадів по периметру території заводу, площею 200 га, на глибину до водонепроникних пластів, побудовано залізобетонну стіну завтовшки 50 см. Протяжність цієї стіни в ґрунті 5 км.

Затримані атмосферні води, річний об'єм яких більше за 1 млн м³, дренажними насосами перекачують у акумулювальний резервуар і надалі застосовують у системах промислового водопостачання. Під час використання цих вод у охолоджувальних системах оборотного водопостачання ніякого додаткового оброблення, окрім періодичного хлорування, не застосовують. Якість води в акумулювальному резервуарі така, що для приготування знесоленої води, необхідної для технологічних потреб заводу, її подають на іонообмінні фільтри без попереднього очищення. Багаторічний досвід експлуатації заводу довів, що прийнята схема дає змогу задовольнити всі потреби технологічних процесів у воді за допомогою атмосферних опадів.

Нині на переважній більшості НПЗ поверхневий стік із територій технологічних установок, резервуарних парків і естакад відводиться спільно з виробничими стічними водами. Після фізико-механічного очищення, а в деяких випадках і біологічного, ці стічні води зазвичай використовують для підживлення оборотних систем. Відведення ж поверхневого стоку з решти території заводу здебільшого здійснюється відкритими лотками і кюветами. Розрахунки показують, що при середній кількості атмосферних опадів 600 мм на рік загальний об'єм поверхневого стоку для НПЗ середньої потужності коливається в межах 0,9–2,7 млн м³ на рік, що складає від 10 % до 30 % річної витрати свіжої води, споживаної на технічні потреби заводу. Проведені дослідження показують, що за сольовим складом поверхневий стік відповідає вимогам, що ставлять до додаткової води і може бути використаний після відстоювання для підживлення оборотних систем. Очищення поверхневого стоку рекомендується здійснювати в піскоуловлювачах і в 4-х секційному ставку-акумуляторі. За величиною карбонатної жорсткості поверхневий стік НПЗ можна порівняти зі зм'якшеною вапняно-содовим розчином річковою водою. У зв'язку з цим використання поверхневого стоку в оборотних системах

дасть змогу зменшити утворення накипу в холодильно-конденсаційній апаратурі, але водночас він може збільшити корозію, що примусить застосувати ефективний захист. Для цієї мети на НПЗ успішно застосовується інгібітор корозії ІКБ-4 дозою 25–50 мг/л. Промислові випробування інгібітору показали, що залежно від агресивності води й умов експлуатації швидкість корозії стала знижуватися на 60–95 %.

Рекомендації зі знешкодження поверхневого стоку з територій металургійних заводів з метою використання їх у системах зворотного водопостачання розроблені ДП УкрНТЦ «Енергосталь». Частка поверхневого стоку в загальному балансі водоспоживання залежить від багатьох умов і коливається в широкому діапазоні. На Донбасі загальний об'єм його за рік становить 10–12 % від загального споживання свіжої води для технічних цілей, а на Уралі частка використання поверхневого стоку зростає до 20–25 %. Для забезпечення вимог до води, що охолоджує устаткування, за завислими речовинами одного гравітаційного відстоювання поверхневого стоку металургійних заводів буває зазвичай недостатньо. Найдоцільніше в таких випадках піддавати освітлений стік фільтруванню.

Розроблена схема збору й відведення поверхневих вод, згідно з якою по периметру території заводу влаштовують кювети, що забезпечують відведення збираної води, щоб виключити попадання її у водоймище. При прокладенні по контуру заводу автомобільної дороги рівень полотна повинен бути вищим за рівень навколишньої місцевості на 0,5 м. У цьому разі дороги слугують обвалуванням заводської території.

На території технологічних установок, де можливі розливи нафтопродуктів, повинні бути дощоприймачі, що підключені до систем промислово-зливної або зливової каналізації.

Поверхневі стоки НПЗ несуть пісок, завислі речовини різної природи, зокрема плаваючі й емульговані нафтопродукти. Унаслідок періодичності випадіння опадів і значного коливання їх інтенсивності, забрудненість поверхневих вод змінюється в широких межах, тому зливної ставки, окрім функцій акумулятора стічних вод виконують функції очисних споруд.

При високому вмісті завислих речовин у поверхневому стоці перед ставками рекомендують влаштовувати піскоуловлювачі для очищення стоку від основної маси крупнодисперсних забруднень. Включення в схему піскоуловлювачів не є рішенням однозначним і вимагає додаткової перевірки в умовах експлуатації. Включення піскоуловлювачів до схеми очищення виправдано тільки в тому разі, якщо забезпечується їх надійна експлуатація, тобто своєчасне звільнення піскоуловлювачів від уловленого осаду. У разі застосування піскоуловлювачів у період найбільш інтенсивних дощів необхідно передбачати відведення частини стоку в ставок, обминувши піскоуловлювач.

Ставок-накопичувач повинен складатися з двох секцій: першої для первинного відстоювання від основної кількості завислих частинок і нафтопродуктів і другої, такої, що виконує функцію акумулятора. Об'єм секцій первинного відстоювання приймають 20 % від загального об'єму ставка.

Зменшений об'єм секцій первинного відстоювання викликаний необхідністю скорочення поверхні, де можуть накопичуватися нафтопродукти й нафта.

Унаслідок тривалого перебування в ставку вода практично повністю освітлюється. За відсутності забруднень ($\text{БПК}_{\text{повн}} = 20\text{--}25 \text{ мг/л}$) стік направляють на підживлення оборотних систем; при $\text{БПК}_{\text{повн}} > 25 \text{ мг/л}$ – на споруду біохімічного очищення стоків першої системи каналізації.

Секції первинного відстоювання по всьому периметру обладнують нафтозбірними поворотними трубами. Уловлені нафтопродукти збирають періодично з накопиченням нафтової плавки, що зганяється вітром, біля однієї з нафтозбірних труб. Уловлений нафтопродукт збирають у приймальному резервуарі, потім направляють на утилізацію.

Секції ставка очищують від осаду періодично, залежно від кількості продуктів, що накопичилися, в середньому один раз на 5–7 років. Перед очищенням секцію звільняють від води, осад підсушують, а потім вивозять машинами на спеціально відведені майданчики. Корисний об'єм ставка-накопичувача розраховують з огляду на з об'єм талих і зливових вод, об'єм осаду, що накопичується в період між очищеннями, мертвий об'єм і залишок води попереднього року.

Питання для самоперевірки

1. Чим обумовлюється доцільність використання очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання?
2. Умови використання для технічного водопостачання очищених міських промислових стічних вод і поверхневого стоку.
3. Які методи доочищення міських стічних вод застосовують із метою їх використання в системах технічного водопостачання?
4. Які вимоги ставляться до біологічно очищених стічних вод, що використовують для підживлення зворотних систем?
5. Застосування активованого вугілля для глибокого очищення стічних вод від органічних домішок.
6. Як впливає застосування коагулянтів перед адсорбційним доочищенням біологічно очищених стічних вод?
7. Особливості формування складу й основні різновиди забруднень поверхневого стоку.
8. Назвіть основні системи відведення поверхневого стоку з територій промислових підприємств.
9. Методи й споруди для очищення поверхневого стоку.
10. Наведіть приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

ЗМ 1.2 ОЧИЩЕННЯ І ПОВТОРНЕ (БАГАТОРАЗОВЕ) ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

ТЕМА 8 ЗВОРОТНІ ТА ЗАМКНЕНІ СИСТЕМИ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ГІРНИЧОМЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

1. Водне господарство підприємств чорної металургії
2. Обробка стічних вод на локальних очисних спорудах.
3. Досвід проектування і практика експлуатації замкнених (безстічних) й маловідходних систем водного господарства. Значення хвостових установок

8.1 Водне господарство підприємств чорної металургії

До складу металургійного комбінату входять наступні виробництва:

- агломераційна фабрика (підготовка (ошматкування) руди і шихти для доменних печей – сировини для виробництва чавуну);
- коксохімічний завод (виробництво коксу, призначеного для відновлення руди);
- доменні печі (виробництво чавуна);
- сталеплавильний цех (виробництво сталі різних сортів);
- цех безперервного розливання сталі (формування слябів і блюмів - заготовок для виробництва кінцевої продукції);
- цех гарячої прокатки (виробництво листів, брусів тощо);
- цех холодної прокатки (виробництво готової продукції (тонкий лист різних сортів).

У комплексі цих виробництв організовано роздільну систему водовідведення. Очищення стічних вод вирішується самостійно для окремих виробництв.

Переважну кількість води на металургійних заводах використовують на охолодження й очищення газів, що виділяються під час плавлення металу, охолодження обладнання, гідротранспорт, промивання металу після травлення і знежирювання, охолодження прокатних станів.

При охолодженні й очищенні газів та гідротранспорті у зворотні системи включають споруди з очищення і охолодження води. За наявності сольових відкладень у трубопроводах і обладнанні зворотні системи водопостачання працюють із продувкою, яка становить 3–5 % загальної витрати води в системі, досягаючи максимуму в окремих випадках 10 %.

8.2 Обробка стічних вод на локальних очисних спорудах

У доменному цеху воду витрачають на зволоження шихти, охолодження доменних печей і арматури повітрянагрівачів, очищення доменного газу, грануляцію шлаку, охолодження чавуну на розливальних машинах і гідроприбирання підбункерних приміщень.

При доменному цеху в самостійний комплекс виділяють споруди з очищенні доменного газу та з обробки стічних вод, що утворюються при його очищенні. Водне господарство доменної газоочищення приймають за замкненим зворотним циклом. У цехах очищення доменного газу вода слугує поглиначем механічних домішок, розчинником газів, а також охолоджувачем і транспортувальним середовищем поглинених домішок.

Стічні води доменної газоочищення, склад і властивості яких залежать від складу шихти і тиску газів під колошником, освітлюються зазвичай у радіальних відстійниках різних конструкцій із застосуванням коагулянтів і флокулянтів. Освітлену воду після охолодження і стабілізаційної обробки використовують повторно, осад зневоднюють і утилізують.

Температура води, що відходить від газоочищення становить 45–55 °С. Цій воді властивий високий вміст завислих речовин через частинки пилю, що потрапляють із газу у воду, кількість яких коливається від 500 до 4000 мг/л або в середньому при роботі печей із нормальним тиском 2900 мг/дм³, а при підвищеному до 170 кН/м² – 1000 мг/л.

Газ доменних печей, що виплавляють феромарганець, відрізняється від газу доменних печей, що виплавляють передільний або ливарний чавун ще більшим вмістом пилю, дисперсністю і хімічним складом. Відповідно відрізняються і стічні води. При виплавці феромарганцю (м. Нікополь, м. Стаханов) питомі витрати води становлять 5–11 м³ на 1000 м³ газу, вміст завислих речовин досягає 3–3,5 г/л, значно зростає лужність (до 90–115 мг-екв/л) і загальна жорсткість, рН – 9–9,5, загальний солевміст – 40 г/л (з них сульфатів і хлоридів 1,2 г/л), а саме головніше – в стоках з'являються дуже токсичні речовини: ціаніди (100–200 мг/л) і роданіди (220–1160 мг/л). Обробка таких стоків потребує подальшої очищення – знешкодження хімічними методами за допомогою реагентів або фізико-хімічними, електрохімічними методами.

Стічні води від очищення газу доменних печей, що виплавляють феромарганцевий чавун, очищають від завислих речовин у радіальних відстійниках зі знешкодженням ціанідів залізним купоросом з подальшим підлогуванням для підтримки рН води в межах 9–10. При цьому необхідні великі витрати залізного купоросу та вапна.

Системам зворотного водопостачання газоочисток доменних печей властивий складний водно-хімічний режим. У системі зворотного водопостачання доменної газоочищення відбувається інтенсивне забруднення нижньої частини газоочисних скрубєрів, краплинного зрошувача градирень і трубопроводів карбонатними відкладеннями у вигляді СаСО₃, заліза тощо, а на деяких заводах також і ZnCO₃. Унаслідок забруднення швидко зменшується охолоджувальний ефект градирень і знижується пропускна здатність скрубєрів і трубопроводів.

Причиною утворення карбонатних відкладень є висока концентрація вільної вуглекислоти (СО₂) та відповідний їй вміст бікарбонатних (НСО₃³⁻) і карбонатних (СО₃²⁻) іонів.

Для запобігання або зменшення інтенсивності карбонатних відкладень на поверхнях, що контактують зі стічними водами, попередження корозійного руйнування устаткування (скруберів високого тиску тощо) в системах зворотного водопостачання доменних газоочисток знаходять застосування такі методи, як фосфатування, рекарбонізація води, додавання ІОМС.

Шлак, що утворюється під час плавлення чавуна відводять від доменних печей до грануляційних установок. Грануляція шлаку полягає в перетворенні його з рідкого стану у твердий зернистий матеріал шляхом швидкого охолодження водою. Стічні води залежно від складу чавуна мають кислу або лужну реакцію і містять сірководень, хлориди, сульфати і 300–650 мг/л завислих речовин. Для освітлення стічних вод грануляційних установок застосовують горизонтальні відстійники. Кислі води нейтралізують вапном. Вода після очищення у відстійниках повертається знову у виробництво.

На сьогодні прибирання пилу у підбункерних приміщеннях здійснюють гідравлічним засобом. *Стічні води від підбункерних приміщень* та машин для розлиття чавуна доменного виробництва відрізняються від стічних вод газоочищення значним вмістом вапна. Обробку цих стічних вод здійснюють за замкненою схемою з проясненням води у горизонтальних відстійниках.

Нагріта вода після розливальних машин містить пісок, вапно, окалину та інші завислі речовини. Для хімічного складу цих стічних вод характерна наявність гідратної лужності, що обумовлено застосуванням розчину вапна для обприскування форм (мульд) для розливання чавуна. Водопостачання розливальних машин зворотне. Середню концентрацію завислих речовин у стічній воді при розрахунку очисних споруд приймають 2000 мг/дм³.

Сталеплавильні цехи

Стічні води сталеплавильного виробництва утворюються у процесі очищення газів мартенівських, електросталеплавильних і киснево-конвертерних цехів. Їх відмітна особливість полягає в значній зміні складу стоку в процесі плавлення. Очищення стічних вод здійснюють шляхом виділення звязаних речовин у відкритих гідроциклонах, флокуляторах і радіальних відстійниках.

Сталеплавильні цехи мають зазвичай два цикли зворотного водопостачання. В одному з них вода виконує функцію теплоносія, у другому вода виконує функцію охолоджувача та середи, що поглинає й транспортує механічні домішки до водоочисних споруд (металевий пил, окалину тощо).

Водопостачання конверторного цеху здійснюють тільки за зворотною схемою.

Газоочищення конверторів. Стічні води від очищення конвертерного газу забруднені твердими частинками і розчиненими хімічними речовинами. Склад і кількість забруднень залежать від схеми відведення й очищення газів, що відходять. При цьому відбувається зміна складу стічних вод за процесом плавлення.

Гази, що утворюються під час виплавлення сталі в кисневому конвертері містять металевий пил і частинки вапна (негашене CaO). Вапно, вживане в киснево-конвертерному процесі для його інтенсифікації, потрапляє в потік газів, що відходять і розчиняється у воді. Кількість розчинного вапна залежить від її якості й способу подачі. В зв'язку з цим збільшується гідратна лужність зворотної води.

Очищення газів здійснюється мокрим способом.

Система водопостачання газоочисток конверторів зворотна. Передбачається попереднє уловлювання завислих частинок крупністю більше 500 мкм, віддувка у разі необхідності вільного оксиду вуглецю, прояснення в радіальних відстійниках або флокуляторах і подальше охолодження на градирнях. Віддувка вільного оксиду вуглецю потрібна для того, щоб поблизу прояснювачів приземна її концентрація не перевищувала рівень, шкідливий для обслуговуючого персоналу. Питоме гідравлічне навантаження на радіальні відстійники приймають $1 \text{ м}^3/\text{год} \times \text{м}^2$.

На схемі зворотного водопостачання газоочищення (рис. 8.1) стічні води від газоочисних установок самопливом надходять у приймальну камеру 1, куди також підводиться пара. Далі вони направляються в камеру 2 для дегазації і відокремлення крупних частинок зависі, в яку подають також поліакриламід. З камери 2 попередньо очищені стічні води потрапляють у гідроциклони-флокулятори 3 і багатоярусний флокулятор 4. Прояснена вода з флокуляторів під залишковим напором надходить на градирню 5. Охолоджена вода збирається в приймальній камері 6 і насосами 8 повертається в газоочисні установки.

Шлами, що містять крупні частки, вловлені у камері 2, відводяться у двохсекційний горизонтальний відстійник 7, з якого осад періодично видаляється грейфером у бункер для зневоднення і потім відвозиться автотранспортом на утилізацію. Шлам з флокуляторів насосами 9 перекачується в радіальні згущувачі 10 діаметром 18 м, потім насосами 11 у перемішувачі 12 пульпи і в фільтр-преси 13 ФПАКМ-25. Всі флокулятори діаметром 12 м і висотою відстійної зони 10 м, конструкція їх розроблена ДП УкрНТЦ «Енергосталь».

При питомому гідравлічному навантаженні $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$ і концентрації завислих речовин у вихідній воді оборотного циклу 20000–30000 мг/л, вміст завислих речовин у проясненій воді на виході з флокуляторів без застосування коагуляції не перевищує 300 мг/л, а з застосуванням коагуляції поліакриламідом в середньому 60–80 мг/л. Продуктивність оборотного циклу водопостачання установок очищення конвертерного газу дорівнює $4000 \text{ м}^3/\text{год}$.

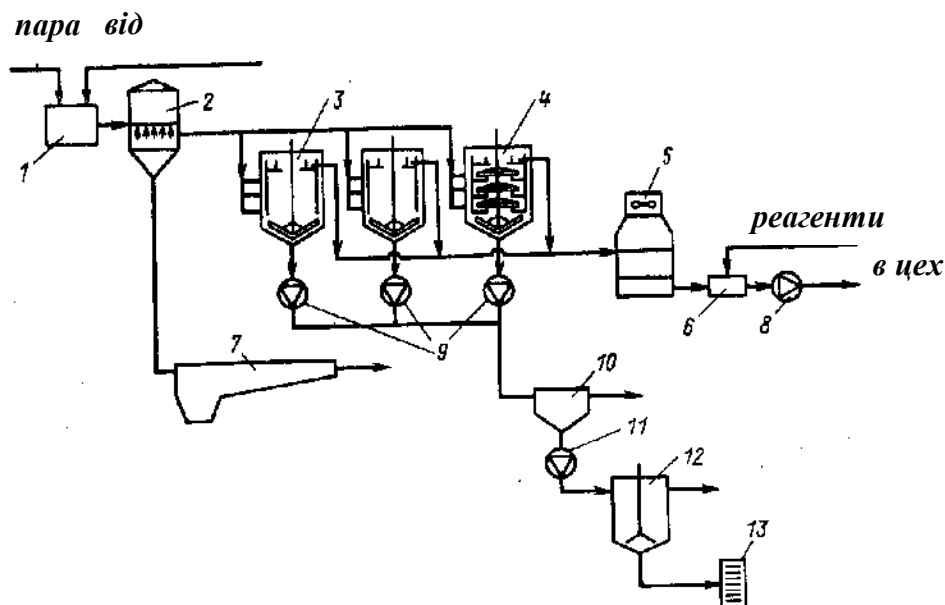


Рисунок 8.1 – Схема оборотного водопостачання газоочисток киснево-конвертерного цеху металургійного комбінату «Азовсталь»

Газоочищення мартенівських печей. Водопостачання здійснюється за оборотною схемою. Кількість стічних вод від однієї мартенівської печі складає 150-200 м³/год. Завдання очищення газів, що відходять від мартенівських печей ускладнюється через перемінний за ходом плавки вміст пилу, різної величини часток пилу і змін температури. Для очищення газів застосовують як сухі газоочищення (електрофільтри), так і мокрі.

Стічні води газоочищення мартенівських печей містять дрібно дисперсні речовини, концентрація яких значно коливається в процесі плавки від 2 до 10 г/л. Найчастіше вони характеризуються кислою реакцією, $pH = 4-6$. Це пов'язано з тим, що в процесі очищення газів вода підкислюється за рахунок уловлювання кислих компонентів таких, як SO_2 , SO_3 а також окислів азоту (NO , NO_2). Для захисту від корозії системи виготовляють кислотостійкими або передбачається нейтралізація стічних вод вапном. Доза вапна за активною речовиною складає орієнтовно 70 мг/л.

Для очищення стічних вод мартенівської газоочищення застосовують радіальні відстійники, відкриті гідроциклони або флокулятори з реагентною обробкою. При цьому питоме гідравлічне навантаження складає для радіальних відстійників 2 м³/ м²×год, флокуляторів 8-9 м³/ м²×год, а для відкритих гідроциклонів 10 м³/ м²×год.

Газоочищення електросталеплавильних печей. В електросталеплавильному цеху сталь виплавляють в електричних печах, плавка металу відбувається під дією електричного току за рахунок електричної дуги, що утворюється між електродами. В процесі плавки сталі з електросталеплавильних печей також відходить велика кількість газів, які очищаються найчастіше за допомогою води. Стічні води, що утворюються від очищення газів, містять дрібнодисперсні завислі речовини у концентрації до 2-3 тис. мг/л, окисли заліза та інші хімічні забруднення (іони важких металів, сірчані сполуки), pH на 1,5-

2,5 одиниці менше, ніж рН вихідної води. Стічні води газоочищення електропечей можуть бути як з кислою, так і з лужною реакцією в залежності від марки виплавленої сталі. В зв'язку з цим, для повторного використання цих стічних вод у системах зворотного водопостачання, потрібна певна хімічна обробка (нейтралізація, стабілізація тощо). Найбільш раціональним методом нейтралізації і знешкодження стічних вод при оборотному водопостачанні є застосування вапняного молока.

Склад і фізико-хімічні властивості стічних вод від електросталеплавильного виробництва залежать від марок сталі, що виплавляють, складу шихти, технології виробництва сталі тощо.

Прояснення стічних найбільш доцільно здійснювати у радіальних відстійниках або у відкритих гідроциклонах. Необхідний для повторного використання ступінь прояснення стічної води до залишкового вмісту завислих речовин у ній 150-200 мг/л досягається при гідравлічному навантаженні на відстійник $0,8-1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, а на гідроциклон $4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$. В якості коагулянту застосовують поліакриламід з концентрацією 1 мг/л.

Стічні води установок безперервного розлиття сталі

Систему водопостачання вторинного охолодження застосовують зворотну, з трьохступеневою очисткою стічних вод і охолодженням води на градирнях.

В якості першого ступеня очищення застосовують ями для окалини, подібні тим, що влаштовують в цехах гарячої прокатки. Гідравлічне навантаження на них приймають в межах $50-65 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, що забезпечує зниження вмісту окалини до 200-250 і масла до 20-30 мг/л. В якості другого ступеня очищення застосовують прямокутні відстійники з механізованим видаленням осаду з навантаженням до $2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$, радіальні відстійники з навантаженням до $4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, а також флокулятори з навантаженням $8 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$. У всіх випадках передбачається застосування поліакриламід у якості коагулянту. На цьому етапі вміст окалини знижується до 75-100 мг/л, а масла до 10 мг/л.

Остаточну доочистку стічних вод здійснюють на напірних одношарових піщаних або двошарових антрацито-кварцевих фільтрах, після яких досягається остаточний вміст завислих речовин в оборотній воді 10-15 мг/л, а вміст масла до 5 мг/л. Навантаження на одношарові фільтри приймають до $20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, а на двошарові – до $30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$.

Прокатні стани

Умовно чиста вода утворюється при охолодженні нагрівальних печей. На всіх інших операціях утворюється брудна вода. В процесі гарячої прокатки металу утворюються стічні води від охолодження металу, що прокочують, і устаткування. Ці стічні води забруднені завислими речовинами (окалиною) і оліями (нафтопродуктами). У міру прокатки (зліва направо) концентрація завислих речовин, що потрапляють у стічні води, зменшується; також зменшується їх гранулометричний склад. Найбільш крупні частки завислих

речовин утворюються на чорнових операціях прокатки, більшість дрібнодисперсних часток – на чистових операціях. Концентрація завислих речовин досягає 500-1500 мг/л, концентрація нафтопродуктів 50-200 мг/л. Завислі речовини утворюються при деформації металу, а нафтопродукти потрапляють у стічні води від змащення різних механізмів, двигунів, підшипників (наприклад, роликів, прокатних валків тощо).

При повторному використанні проясненої води залишковий вміст завислих речовин не повинен перевищувати 10 мг/л, масел – 5 мг/л.

На ділянці охолодження смуги здійснюється охолодження смуги, яке регулюється за допомогою ЕОМ. При цьому кількість охолоджуючої води залежить від температури прокатаного листа, марки сталі, від вимог до закалювання листа, а також від температури охолоджуючої води.

Після кожної технологічної операції гарячої прокатки металу використану воду скидають у підстановий лоток, розташований під центральним рольгангом. Він має нахил у сторону первинних відстійників, це забезпечує необхідні транспортуючі швидкості для змиву окалини.

Очищення стічних вод здійснюють у три ступеня. Первинну очистку від крупних часток окалини здійснюють в ямах для окалини (первинні відстійники), час перебування 5-8 хв. Вторинне очищення від зважених речовин і масел здійснюється в горизонтальних і радіальних відстійниках або гідроциклонах. Залишкова концентрація завислих речовин – 30-90 мг/л, масел 12-20 мг/л. Доочищення – на фільтрах із зернистим завантаженням підвищеної брудоемкості (піщаних або гравійних фільтрах), фільтрах з плаваючим завантаженням, сітчастих фільтрах. Прояснена вода використовується повторно.

Стічні води станів холодної прокатки мають дуже складний хімічний склад, бо в них потрапляють стійкі емульсії нафтопродуктів, різні технологічні змащення або олії (соняшникова, олеїнова, пальмітинова), які використовують для зниження зусиль у зоні деформації. Наприклад, пальмітинова олія має температуру твердіння 25⁰С, це викликає великі ускладнення при очищенні стічних вод, тому що при звичайній температурі вони знаходяться в стічних водах у нерозчиненому стані. А при хімічній обробці поверхні металу потрапляють іони важких металів (хром, цинк, нікель). Стійкість емульсії до розшарування є основним параметром, що диктує методи і затрати на очистку. Очищаються ці стічні води звичайно методом флотації, потім нейтралізуються до рН = 7–7,5. Кількість стічних вод від станів холодної прокатки порівняно невелика і складає від 100-200 м³/год.

8.3 Досвід проектування і практика експлуатації замкнених (безстічних) й маловідходних систем водного господарства. Значення хвостових установок

Впровадження замкнених (безстічних) систем водокористування в даний час вважається практично єдиним раціональним вирішенням ефективного використання води в металургії.

Створення замкнених систем зворотного водопостачання промислових підприємств базується на корінній зміні існуючих принципів організації водопостачання, водовідведення та очищення стічних вод.

Водне господарство підприємства необхідно розглядати як комплексну систему, що включає водопостачання і каналізацію, до того ж очищення стічних вод розглядається як підготовка їх для повторного використання. Основою замкнених систем водного господарства є локальні зворотні цикли водопостачання, в яких об'єднують споживачів з однаковими вимогами до якості води й аналогічними забрудненнями. При цьому якість повторно використовуваної води визначається на підставі науково обґрунтованих вимог. Локальні зворотні системи об'єднують в єдиний комплекс водного господарства з використанням *каскадного принципу* – первинна подача води споживачам із підвищеними вимогами до якості води, а продувка цих систем слугує для підживлення систем з водою нижчої якості.

Основним джерелом виробничого водопостачання мають бути очищені виробничі й міські стічні води, а також поверхневий стік із території підприємства. Свіжа вода з водних джерел повинна використовуватися лише для особливих цілей і заповнення втрат води в системах. При очищенні стічних вод і регенерації технологічних розчинів, вживані методи повинні забезпечувати одночасне вилучення цінних компонентів з отриманням товарного продукту або вторинної сировини для подальшого використання.

Створення замкненої системи водопостачання є комплексним завданням, що передбачає:

- впровадження ефективних фізико-хімічних методів очищення стічних вод;
- встановлення гранично допустимих концентрацій солей і інших компонентів у зворотній воді з огляду на її безпеку для кожного замкненого циклу;
- створення максимально можливої кількості локальних замкнених циклів з багатократним використанням води;
- вилучення зі стічних вод цінних компонентів;
- переробку в цілях утилізації виділених осадів і засолених вод.

Створення систем безстічного водопостачання потребує глибокої оцінки якості води, точного визначення джерел і величини безповоротних втрат, максимально можливого спрощення загальнозаводської схеми водопостачання. Головною вимогою до якості води, що визначає необхідність продувки систем зворотного водопостачання, є її стабільність: хімічний склад зворотної води повинен виключати утворення відкладень і корозію.

Створення замкнених безстічних і безвідходних систем водного господарства металургійних підприємств передбачає знесолювання продувочних вод на заводських демінералізаційних установках з поверненням отриманої чистої води у виробничий процес.

Практика експлуатації подібних систем показує, що визначальними чинниками під час їх створення є вибір і влаштування хвостових очисних установок. Адже саме вони дають змогу зробити систему замкненою. До хвостових установок належать установки переробки продувочних вод, утилізації концентрованих відпрацьованих технологічних розчинів, кристалізації, збезводнення і сушіння осадів, а також стабілізаційні установки, установки спалювання, доочищення тощо.

Організація замкнених систем водопостачання потребує також одночасного опрацювання всіх елементів водного господарства в їх взаємозв'язку, а не тільки окремих частин (чистих і брудних зворотних циклів, локальних споруд з очищення стоків тощо). На практиці в таких системах очищаються і використовуються зливи води, на хвостових установках переробляються відходи від локальних циклів тощо.

Створення безпродувочного режиму роботи зворотних систем, а також використання для підживлення очищених стічних вод насамперед пов'язане з вирішенням проблеми боротьби з корозією трубопроводів і апаратури та відкладенням солей, з кондиціонуванням води. Існують багато методів, успішно вживаних на практиці й докладно розглянутих у літературі.

У практиці експлуатації водного господарства вітчизняних і закордонних промислових підприємств широкого застосування набули фосфорвміщувальні комплекси, які при додаванні у зворотну воду інгібують процеси відкладання солей, корозії та біообростання.

У системах водяного охолодження при обробці води комплексом ІОМС (інгібітор відкладень мінеральних солей) при карбонатній жорсткості води до 7,0 мг-екв/л досягається практично повне запобігання утворенню відкладень мінеральних солей, при цьому експлуатаційні витрати менші, ніж під час використання традиційних методів кондиціонування води. За умов великої жорсткості води доцільно поєднувати обробку підживлювальної води ІОМС із підкисленням, вапнуванням або іншими методами зниження карбонатної жорсткості. Унаслідок впровадження нових технологій обробки води забезпечується можливість переведення діючих систем зворотного водопостачання і створюваних на схеми безстічного водокористування без великих капітальних витрат.

Досвід будівництва й експлуатації замкнених систем водопостачання на виробничих підприємствах пострадянського простору умовно розділяють на три етапи. Перший етап, що доводиться на період з 1973 по 1990 роки, характеризується інтенсивним підйомом будівництва і експлуатації багаточисельних великих систем замкненого водопостачання. Першу в світі систему замкненого водопостачання металургійного підприємства побудовано в 1973 році на Ісетському металургійному заводі (м. Свердловськ). Усього за цей період у радянській металургійній галузі було побудовано близько 40 досить

потужних комплексів замкненого водопостачання (24 – в чорній, 15 – в кольоровій металургії), що успішно працюють і сьогодні. За кордоном будівництво таких систем почалося тільки в кінці 80-х років.

Під час другого етапу з 1990 по 2000 роки роботи зі створення замкнених систем практично припинилися, до того ж не тільки в металургії, але і в інших галузях виробництва.

Третій етап почався з 2000 року, коли почали з'являтися перші серйозні ознаки відновлення промисловості та вияву інтересу до створення замкнених систем водопостачання у нашій країні. Цей етап продовжується із змінним успіхом до наших днів.

Українські досягнення

Погіршення екологічної ситуації в країні й дефіцит води в регіонах з найвищим «металургійним» навантаженням примушують підприємства здійснювати реконструкцію у напрямі створення сучасних замкнених безстічних систем водного господарства. В Україні величезний досвід у розробленні безстічних замкнених систем водопостачання металургійних підприємств має український науково-технічний центр «Енергосталь». Останнім часом за проектами ДП УкрНТЦ «Енергосталь» на ВАТ «Алчевський металургійний комбінат» і «Єнакіївський металургійний завод» створені практично безстічні системи зворотного водопостачання.

Варто зазначити, що традиційно при організації системи водопостачання станів гарячого прокату в «брудний» зворотний цикл скидали води від деяких споживачів, що використовують свіжу або «умовно-чисту» воду. Створювався дебаланс, а частину води зі зворотного циклу скидали у водоймище.

Використання нових очисних споруд, розроблених ДП УкрНТЦ «Енергосталь», дало змогу скоротити займані виробничі площі, а дебалансні води після доочищення на антрацито-кварцових фільтрах, – повернути в «умовно-чистий» зворотний цикл. Отже створено замкнену систему водопостачання, що виключає скидання води у водоймище і дозволяє значно скоротити споживання свіжої води.

Прикладом високоефективної замкненої системи, розробленої за технічними рішеннями ДП УкрНТЦ «Енергосталь», є система зворотного водопостачання стану «3000» ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча», що не має світових аналогів. Система складається з «умовно-чистого» і двох «брудних» зворотних циклів. Перший зворотний цикл обслуговує ділянку чорнових клітей і включає яму для окалини, радіальні відстійники з камерою флокуляції та два ступеня фільтрів. Воду після другого ступеня фільтрів подають на установки гідрозбивання, які раніше працювали на свіжій технічній воді. Це значно скоротило переповнювання цього зворотного циклу. Для запобігання накопиченню дрібної фракції зважених речовин передбачена коагуляційна обробка води сірчаноокислим алюмінієм. Другий зворотний цикл, що обслуговує чистові кліті й відвідний рольганг, включає відкриті гідроциклони діаметром 6 м і антрацито-кварцові фільтри. Частину проясненої води доочищують на вугільних фільтрах і повертають на

поповнення «умовно-чистого» циклу. Робота системи водопостачання передбачена на безстічному режимі.

Значних успіхів у сфері очищення і скидання стічних вод вдалося досягти і на ВАТ «Запоріжсталь». На комбінаті розроблена і цілеспрямовано виконується програма технічного переозброєння основних потужностей із максимальним впровадженням ресурсозберігальних технологій, розрахована на період до 2015 року. У програмі значне місце займає впровадження заходів щодо охорони водного господарства. Серед найбільших об'єктів, введених в експлуатацію, – замкнені системи з очищення промислових вод аглофабрики, доменного, мартенівського виробництв, ливарного і прокатних цехів. Нині побудовані й ефективно використовуються 11 замкнених зворотних циклів, за допомогою яких вдалося зменшити скиди стічних вод на 30 % і підвищити повторне використання технічної води на 86 %. Крім того, через встановлені системи, щорік уловлюється і повертається у виробництво більше 200 тис. т залізовмісних шламів.

Цей досвід доводить, що проблема впровадження замкнених систем очищення води досить актуальна для металургійної галузі нашої країни. Багато масштабних металургійних підприємств заявляють сьогодні про активну роботу з проектування, будівництва і налагодження таких систем.

Значення хвостових установок

Відмітною особливістю замкнених безстічних і безвідходних систем водного господарства є необхідність мати в їх складі так звані хвостові установки, наявність яких і дає змогу зробити систему замкненою. До них належать установки переробки і утилізації концентрованих відпрацьованих технологічних розчинів, збезводнення і сушки осадів, спалювання, стабілізації, демінералізації. Установки переробки концентрованих розчинів зазвичай входять до складу основного технологічного цеху, а стабілізаційні – до складу чистих і «брудних» зворотних циклів. Широко використовують установки обробки осадів, що утворюються під час очищення стічних вод. До їх складу входять вузли згущування, кондиціонування, механічного збезводнення і сушки осадів.

Під час створення замкнених систем водопостачання найбільші труднощі викликають процеси *демінералізації* стічних вод. Стічні води, що поступають в докілья, умовно розділяють на «керовані» (пов'язані з окремими технологічними процесами) і «некеровані», такі, що є безповоротними втратами води зі зворотних систем (краплинне віднесення води вітром, інфільтрація тощо). У чорній металургії, наприклад, дві третини солей, що скидаються, доводиться на керовані скиди. Зазвичай вони складаються із продувочних вод різних зворотних циклів (зокрема травильних і гальванічних відділень), стічних вод енергетичних установок (стоки водопідготовчих установок, води від продувки котлів, пароперетворювачів та ін.), шахтних вод. Ці стоки є багатокомпонентною системою непостійного складу.

Відомо декілька методів демінералізації стічних вод: термічний, іонообмінний, зворотний осмос, електродіаліз. На сьогодні для вирішення цієї проблеми застосовують випаровування і термічне знесолення.

Термічний метод дає змогу отримати зі стоку повністю утилізовані продукти - конденсат і сухі солі. У процесі розроблення випарних установок доводиться вирішувати питання, пов'язані з утворенням відкладень на теплообмінних поверхнях, спінюванням випаровуваних стоків і підбором антикорозійних матеріалів. Донецькою філією УкрНТЦ «Енергосталь» із залученням інших організацій розроблені технологічні схеми перероблення розсолів із здобуттям товарних солей. Так, стічні води від натрій-катионітових хімводоочисток переробляють з одержанням хлористого натрію, який повторно використовують для регенерації фільтрів, і хлористого кальцію. Продувочні води котлів і випарників переробляють з одержанням сульфату і хлориду натрію. Стоки водопідготовки енергетичних установок намічено переробляти з розділенням на дистилат і солі, при повному використанні тепла вторинної пари.

Знесолення виробничих стоків може здійснюватися із застосуванням іонообмінних установок, які давно використовують у вітчизняній практиці. У технологічному й економічному плані іонообмінне знесолення – процес, що має найбільші переваги. Проте він має і принципові недоліки: наявність сильномінералізованих стоків, що утворюються при регенерації іонообмінних смол, і значна кількість слабкоконцентрованих промивних вод.

Проблемам очищення, кондиціонування і повторного використання стічних вод промислових підприємств завжди приділяли більшу увагу, ніж питанням переробки осадів з раціональним їх використанням. Зазвичай, здійснюють складування осадів у різних накопичувачах, відвалах і полігонах, де вони зрештою становляться щонайпотужнішими джерелами вторинного забруднення довкілля.

На сучасному етапі реалізують три стадії переробки осадів: 1) осади, виділені при відстоюванні стічних вод піддають кондиціонуванню різними методами (найпоширенішим є спосіб із застосуванням флокулянтів); 2) здійснюють збезводнення на спеціалізованих апаратах (вакуум-фільтрах, фільтр-пресах, центрифугах); 3) збезводнений осад перед утилізацією проходить додаткову обробку (сушку, грудкування тощо).

Питання для самоперевірки

1. На яких основних принципах базується створення замкнених систем?
2. Каскадний принцип подачі води споживачам в єдиному комплексі водного господарства.
3. Головні джерела утворення мінералізованих стічних вод.
4. Значення установок демінералізації стічних вод і хвостових установок при створенні замкнених зворотних систем.
5. Методи обробки осадів, що утворюються у разі очищення й повторного використання стічних вод.
6. Методи знесолення продувочних стічних вод.

ТЕМА 9 ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ЦЕХІВ МАШИНОБУДІВНИХ ЗАВОДІВ ТА ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ І КОЛЬОРОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

1. Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод
2. Огляд основних методів, технологічних схем й обладнання процесів очищення СВ гальванічних виробництв
3. Маловідходні іонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів

9.1 Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод

Гальваніка – електролітичне осадження тонкого шару металу на поверхні металевого предмета для захисту його від корозії, підвищення зносостійкості, запобігання від цементації, у декоративних цілях тощо [1]. Одержувані гальванічні покриття повинні бути щільними, а за структурою – дрібнозернистими. Щоб досягти дрібнозернистої будови покриттів, необхідно вибрати відповідний склад електроліту, температурний режим і щільність електричного струму.

Гальванічне покриття металу – це ефективний спосіб вирішення багатьох технічних проблем і збільшення терміну служби обладнання, агрегатів й інших пристроїв. Нанесення гальванічних покриттів методом хромування або нікелювання вимагає спеціального виробничого процесу й кваліфікованого персоналу.

У процесі нанесення гальванічних покриттів застосовуються добре розчинні у воді солі важких металів: міді, нікелю, цинку, кадмію, хрому й інших металів. У процесі промивання готових виробів солі попадають у воду, а потім можуть потрапити й у каналізацію. При цьому більшу частину домішок вдається очистити методами реагентного очищення відновниками й вапном або електрокоагуляцією.

Нанесення гальванічних покриттів – це електрохімічний процес, при якому відбувається осадження шару металу на поверхні виробу. Як електроліт використовується розчин солей металу, що наноситься. Виріб є катодом, анод – металева пластина. Позитивно заряджені іони Me подаються до катода, унаслідок чого відбувається електроосадження металу.

Товщина, щільність, структура гальванічних покриттів можуть бути різними залежно від складу електроліту й умов протікання процесу – температура, щільність струму. Наприклад, варіюючи співвідношенням цих двох параметрів можна одержати блискуче або матове хромове покриття.

Декоративні покриття мають невелику товщину, дрібнозернисту структуру й високу щільність. Для забезпечення міцності зчеплення покриття з виробом проводять підготовку поверхні, що включає механічну обробку (шліфування, полірування), видалення оксидів і знежирення. Після нанесення покриття виріб промивають і нейтралізують у лужному розчині.

У процесі виробництва утвориться значний обсяг токсичних стічних вод і шламів, що забруднюють навколишнє природне середовище і негативно

впливають на здоров'я людини. Але при цьому містять безліч кошовних важких і рідкісних металів (далі – ВРМ).

Сполуки металів, що виносяться стічними водами гальванічного виробництва, досить шкідливо впливають на екосистему водойма – ґрунт – рослина – тваринний світ – людина. Вони володіють токсичною, канцерогенною, мутагенною, тератогенною й алергенною дією. Крім того, деякі неорганічні сполуки спричиняють згубну дію на мікроорганізми очисних споруд, припиняють або сповільнюють процеси біологічного очищення стічних вод і зброджування осадів у метантенках.

При одночасній присутності в стічних водах гальванічного виробництва декількох шкідливих компонентів проявляється їх спільна, комбінована дія на організм людини, флору й фауну водойм, на мікрофлору очисних споруд каналізації.

Під час використання води забруднених водойм для зрошення важкі метали виносяться на поля й концентруються у верхньому найбільш родючому гумусоутримувальному шарі ґрунту, знижуючи азотфіксувальну здатність ґрунту й урожайність сільськогосподарських культур, і спричиняють нагромадження сполук ВРМ вище допустимих концентрацій у кормах й інших продуктах.

У м. Харків найбільша кількість Ме-вміщуючих стоків надходить із таких великих промислових підприємств, як ХДАВП, «Південкабель», ХМЗ, «Турбоатом», «Моноліт», «Електротяжмаш», ХТЗ, ПО «Завод ім. Малишева», ГПЗ-8 тощо.

Кількість металів, що потрапляє у каналізаційну мережу м. Харків із промивними СВ гальванічних виробництв становить орієнтовно, т/год: Cu – 50-80, Zn – 5-10, Ni – 15-20. У таблиці 9.1 наведено характеристики СВ деяких харківських підприємств.

Аналогічна ситуація спостерігається й в інших містах України, що мають розвинену металургійну й машинобудівну промисловість, що включає безліч гальванічних і травильних цехів і ділянок. З метою утилізації кошовних компонентів із гальванічних СВ і шлаків дослідниками ДП УкрНТЦ «Енергосталь» й інженерами промислових підприємств розробляються методи очищення СВ та установки для їхньої реалізації у виробничих умовах.

На вітчизняних машинобудівних підприємствах застосовують здебільшого кислі, ціаністі, лужні й цинкатні електроліти, часто з додаванням різних ПАВ.

Практика експлуатації станцій нейтралізації переконливо довела, що самі собою очисні споруди не вирішують повною мірою проблем знешкодження. Збільшення терміну служби гальванічних ванн, насамперед, досягається за допомогою регулярного коректування складу робочих розчинів по основних і додаткових компонентах.

Таблиця 9.1 – Характеристики промивних вод гальванічних цехів деяких підприємств м. Харків

Підприємства м. Харків	Вміст у промивних СВ сполук важких металів	
	Me, г/дм ³	Кількість, т/год [*]
ХДАВП «Південкабель»	Cu – 1-1,3	0,25–0,4
	Zn – 0,1-0,2	0,1–0,3
	Ni – 2-2,5	12–15
	Cu – 10-12	28–34
	Zn – 0,1-0,2	2,9–3,95
	Ni – 2-2,5	0,4–2,1
«Моноліт»	Cu – 7-13	28–34
	Zn – 0,1-0,2	2,9–3,95
	Ni – 2-2,5	0,4–2,1
ПО «Завод ім. Малишева»	Cu – 10-11	23–31
	Zn – 0,1-0,2	2,5–3,4
	Ni – 2-2,5	0,45–2,2

^{*}У період повного завантаження підприємства

Значний вплив на вихід якісної продукції та продовження термінів служби гальванічних ванн робить чистота використовуваних електролітів. У процесі роботи відбувається неминуче нагромадження шламів у гальванічних ваннах і комунікаціях. Очищення розчинів від механічних домішок здійснюється періодичним або безперервним фільтруванням.

На практиці доцільно використати систему безперервного фільтрування, що дає змогу досягти не тільки сталості ступеня чистоти електроліту, але й з концентрації розчину по всьому обсязі за допомогою циркуляції робочої рідини.

Крім механічних забруднень, в електролітах у процесі вироблення накопичуються сторонні домішки. Вони забруднюють електроліт, роблять його непридатним до роботи. Для перекаду домішок у нерозчинну форму необхідно періодично додавати відповідні реактиви. Регенерація електролітів здійснюється тільки в тому разі, якщо перераховані вище методи вже недейсні.

Залежно від складу забруднень може вироблятися регенерація або одного профільюючого компонента, або всієї системи загалом. Завершальним етапом технології замкнутого циклу є диференційована нейтралізація промислових стоків, що забезпечує максимальний витяг продуктів електролізу й повернення очищеної води у виробничий цикл.

9.2 Огляд основних методів, технологічних схем й устаткування процесів очищення СВ гальванічних виробництв

Гальванічні стоки зазвичай містять не тільки механічні, але й хімічні забруднення. Отже механічне очищення гальванічних стоків без якого-небудь

хімічного (або іншого методу) очищення практично не використовується. Кожний з відомих способів очищення гальванічних стоків має свої переваги й свої недоліки.

Очищення гальванічних стоків від іонів шестивалентного хрому й важких металів здійснюється зазвичай реагентним або електрохімічним методами. Ці методи не дають змогу очищати воду до необхідних вимог по вмісту шкідливих компонентів, через що в поєднанні з ними застосовуються інші методи [7-21].

Відмова від нейтралізації об'єднаних промислових стоків й індивідуальна обробка відпрацьованих електролітів дають змогу одержувати опади з високим вмістом рідких і кольорових металів.

Гальванічне виробництво є одним із найнебезпечніших джерел забруднення навколишнього природного середовища, поверхневих і підземних вод. Стічні води травильних і гальванічних відділень характеризуються тим, що забруднення, що втримуються в них, неможливо видалити за допомогою фільтрування й інших методів, що зазвичай застосовують для очищення комунальних стічних вод.

Найчастіше зустрічаються такі забруднювачі: неорганічні кислоти, луги, поверхово активні речовини й неорганічні солі ВРМ [7–21]. Для очищення стічних вод гальванічних виробництв застосовують реагентні, електрохімічні, іонообмінні й деякі інші фізико-хімічні способи, здійснювані на установках безперервної та періодичної дії й засновані на хімічному окислюванні, відновленні й осадженні розчинених речовин, а також на нейтралізації вільних кислот і лугів.

Для знешкодження ціановміщувальних стічних вод застосовують переважно реагенти-окислювачі, що містять активний хлор (хлорне вапно, хлорне вода тощо). Необхідний час контакту стічних вод із реагентами за умов інтенсивного перемішування реакційної суміші становить 3–5 хв [5–20].

Гальванічні стоки можуть бути очищені різними способами. Класифікація способів очищення гальванічних стоків залежить від обраного критерію.

Загальноприйнятою вважається класифікація за способом очищення гальванічних стоків:

1. Механічний спосіб. Сутність механічного способу полягає в тому, що зі стічних вод шляхом відстоювання й фільтрації видаляються механічні домішки. Грубодисперсні частинки, залежно від розмірів, уловлюються решітками, ситами, піскоуловлювачами, септиками тощо.

Механічне очищення дають змогу виділяти з побутових стічних вод до 60–75 % нерозчинних домішок, а із промислових до 95 %, багато з яких використовуються у виробництві як коштовні домішки.

2. Реагентний спосіб. Цей спосіб є одним із основних методів очищення стічних вод. У його основі лежать хімічні реакції, які переводять шкідливі забруднювачі у воді з розчину в нерозчинний осад із подальшим витягом осаду зі стоку.

Для проведення хімічних реакцій необхідні відповідні умови. Наприклад, у гальванотехніці виділяється декілька типів стоків: ціановміщувальні; хромовміщувальні; що утримують солі важких металів; кислотно-лужні.

Для застосування реагентного методу очищення цих стоків на попередній стадії необхідно провести корекцію рН середовища. Потім проводяться хімічні реакції, які переводять метали в нерозчинну форму.

3. *Електрохімічний спосіб*. Цей спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва володіє низкою переваг: проста технологічна схема у процесі експлуатації обладнання, зручність автоматизації його роботи, скорочення виробничих площ під розміщення очисних споруджень, можливість очищення стічних вод без попереднього розведення, зниження солевмісту й зменшення обсягу осаду, що утвориться в процесі очищення [9–18].

4. *Електрофлотація* – процес очищення стічних вод, при якому електролітично отримані газові пухирці, спливаючи в обсязі рідини, взаємодіють із частинками забруднень, унаслідок чого відбувається їхнє взаємне злипання, обумовлене зменшенням поверхневої енергії частинки й пухирця газу на границі поділу фаз «рідина-газ».

Щільність пінного продукту, що утворюється в електрофлотаторі нижче щільності води, що забезпечує його спливання й нагромадження на поверхні очищуваної води. Флотошлам періодично видаляється з електрофлотатора автоматичним пристроєм збору шламу.

5. *Іонообмінний спосіб*. Досить ефективним методом очищення промивних СВ є іонний обмін, за допомогою якого повертається знесолена вода, а сорбовані забруднення витягаються з іонообмінних смол при регенерації. Доцільність використання іонного обміну як технології очищення й повернення 85–95 % води обмежується приростом вмісту солей від 50 мг/л до 250 мг/л.

При багатоступінчастому каскадному промиванні в декількох ваннах, у зв'язку з високою концентрованою промивних вод, застосування технології іонного обміну є недоцільним, а кращим є метод зворотного осмосу.

6. *Мембранний спосіб (зворотний осмос)*. Установки зворотного осмосу забезпечують можливість очищення води одночасно від розчинних неорганічних (іонних) і органічних забруднювальних домішок, високомолекулярних сполук, завислих речовин, вірусів, бактерій та інших шкідливих домішок.

Оскільки потік фільтрату прямо пропорційний площі поверхні мембрани й обернено пропорційний її товщині, у процесі проектування установок зворотного осмосу необхідно підбирати мембрани з максимально можливою площею й мінімально можливою товщиною на одиниці об'єму апарата.

Надійність установок зворотного осмосу підвищують через установлення резервного обладнання, з можливістю його багатофункціонального застосування, оптимізації кількості мембранних елементів у кожній секції апарата, а також підвищуючи надійність фільтрувальних елементів й оснащуючи комп'ютерною системою пошуку мембранного елемента, що відмовив, і модуля [13–21].

Нижче (рис. 9.1, табл. 9.2.) наведено сучасні методи очищення промивних СВ, відпрацьованих електролітів та інших СВ основного гальванічного виробництва.

За концентрацією розчинених речовин, що втримуються в них, стічні води гальванічних виробництв поділяють на дві основні групи:

- малоконцентровані, що утворюються в різних промивних операціях;
- висококонцентровані, що становлять відпрацьовані розчини й електроліти.

За хімічним складом їх поділяють на три основні групи:

- утримуючі ціанисті сполуки (ціаніди);
- утримуючі сполуки шестивалентного хрому (хромати);
- утримуючі вільні мінеральні кислоти або луги.

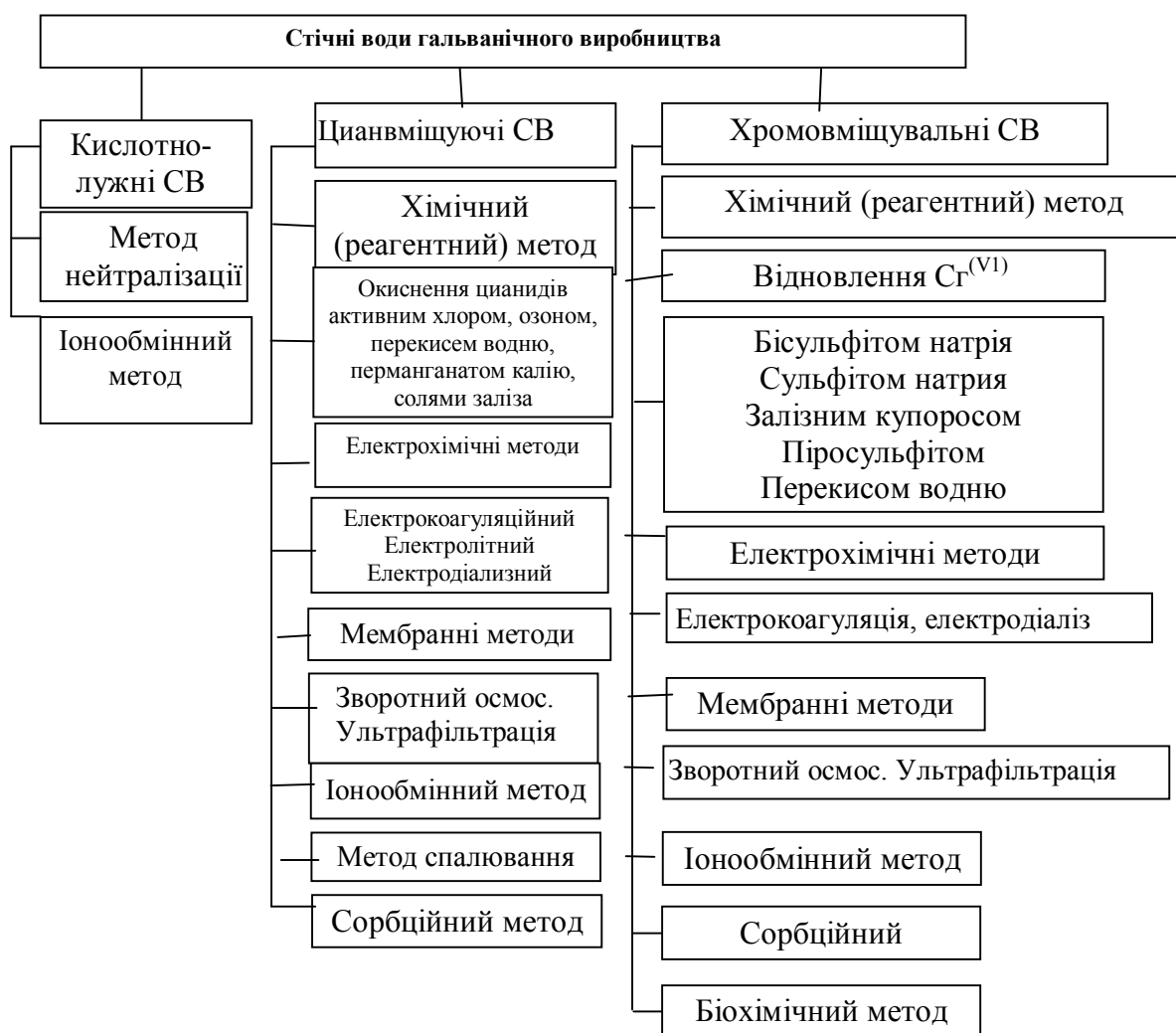


Рисунок 9.1 – Методи очищення СВ гальванічних виробництв

Таблиця 9.2 – Методи очищення та знешкодження гальванічних СВ

Метод	Область застосування	Переваги	Недоліки
<i>Ціановміщувальні СВ</i>			
Обробка гіпохлоритом Na, CaCl ₂ , рідким хлором	Для стоків із різною концентрацією ціанідів	Очищення до ПДК. Простота використання	Немає повернення води в схему. Необхідне реагентне господарство. Велика витрата реагенту
Обробка солями заліза	Для СВ і ціановміщувальних шламів	Відсутність дефіцитних реагентів. Простота використання	Очищення не до ПДК, потрібне додаткове очищення. Складна схема. Потрібно точне підтримання рН
Обробка перманганатом калію	Для малих об'ємів СВ	Високий ступінь очищення при будь-якому вмісті ціанідів Повернення води в схему	Висока вартість реагенту. Потрібне повне видалення токсичного MnO ₂ з води
Знешкодження перекисом водню	Для малих обсягів стоків з концентрацією ціанідів до 100 мг/дм ³	Очищення до ПДК. Немає домішок. Проста схема. Немає токсичного хлорціану. Висока окисна здатність реагенту	Складність зберігання реагенту. Необхідне введення каталізатора (мідного купоросу)
Знешкодження озоном	Для більших обсягів стоків із концентрацією ціанідів до 100 мг/дм ³	Висока окисна здатність O ₃ . Повернення води в схему. Повне очищення від ціанідів й органіки	Громіздкість обладнання. Необхідний каталізатор (іони Me) і перемішування розчину
Випарювання	Для стоків із високим вмістом ціанідів	Повне окислювання ціанідів	Громіздкість обладнання
Електролітичне окислювання	Для СВ з високим вмістом ціанідів	Простота процесу. Не має дефіцитних реагентів	Потрібне додаткове обладнання й методи очищення. Очищення не до ПДК
Кислотне розкладання	Для стоків із високим і середнім вмістом ціанідів	Можлива нейтралізація ціанідів термічного виробництва	Громіздкість схеми. Необхідне поглинання лугом ціанідів і герметизація системи
Іонообмінне очищення	Для стоків з низьким вмістом ціанідів	Повернення води в схему	Висока вартість іонообмінних смол. Герметизація схеми
Електрокоагуляція	Для СВ із витратою до 100 м ³ /год і вмістом ціанідів до 150 мг/дм ³	Очищення до ПДК. Повернення води в безреагентну схему	Подвійна обробка стоків в електрокоагуляторі. Очищення з розведенням. Пасивація анодів

Метод	Область застосування	Переваги	Недоліки
Хромовміщувальні СВ			
Обробка Сульфітом, піросульфитом, гідросульфітом натрію	Для різних обсягів СВ із різним вмістом Сг	Очищення до ПДК. Простота експлуатації	Висока витрата реагентів. Забруднення води. Втрата Сг. Немає повернення води в схему.
Знешкодження залізним купоросом	Для незначних обсягів стоків з різним вмістом Сг	Очищення до ПДК. Висока швидкість відновлення Сг ^(VI) до Сг ^(III)	Надлишок реагенту й великий обсяг осаду. Складна схема. Окислювання Fe ^(II) до Fe ^(III) під час зберігання.
Обробка пероксидом водню	Для високо-концентрованих СВ	Очищення до ПДК. Простота дозування H ₂ O ₂ . Повернення води в схему	Складність зберігання пероксиду водню, висока вартість
Метод Лансі	Для зниження концентрації Сг в СВ	Простота метода	Неможлива регенерація Сг ^(VI)
Електрохімічний метод	Для СВ з вмістом Сг ^(VI) 100–1000 мг/дм ³	Можливе очищення до 1 мг/дм ³ Сг(VI). Вихід по току ~100%	Потрібні додаткове обладнання й енерговитрати. Пасивація електродів
Біохімічний метод	Для суміші Сг-вміщувальних і побутових стоків з концентрацією Сг (VI) до 200 мг/дм ³	Очищення до ПДК. Мала витрата енергії. Обладнання не потребує хімзахисту. Простота схеми	Потрібна точна підтримка температури, концентрації Сг і біомаси. Неможлива регенерація Сг. Дефіцитність реагентів
Кислотно-лужні СВ та інші скиди			
Реагентний метод	Для СВ різних обсягів і різною концентрацією забруднень	Очищення до ПДК. Очищення окремих стоків і суміші. Стабільність процесу	Немає повернення води в схему. Неможливе відділення осаджених Ме. Складна схема
Електрокоагуляція	Для Сг-стоків із витратою <100 м ³ /год і вмістом Сг <200 мг/дм ³	Очищення до ПДК. Повернення води в схему. Відсутні витрати реагентів. Невеликі габарити	Висока витрата Ме на розчинні аноди, їх пасивація. Розведення концентрованих СВ
Електродіаліз	Для локального очищення СВ гальванічних виробництв	Очищення до ПДК. Повернення води та іонів Ме в схему. Невеликі габарити установки	Висока витрата електроенергії. Необхідне очищення від суспензій й органіки перед діалізом
Зворотний осмос і ультрафільтрація	Для локального очищення СВ окремих різновидів покриттів	Очищення до ПДК. Повернення води в схему. Мала витрата енергії.	Концентраційна поляризація. Нестійкість мембран. Забивання пор осадом після концентрування

Метод	Область застосування	Переваги	Недоліки
Іонний обмін	Для СВ з витратою <500 м ³ /год і вмістом Сг <400 мг/дм ³	Очищення до ПДК. Повернення води в схему. Очищення суміші СВ, селективне виділення іонів Ме	Очищення від домішок перед іонообмінною колоною. Герметичність схеми. Утворення й знешкодження елюатів. Дефіцитність смол.

Недоліки існуючих методів (крім зазначених у табл. 9.2).

Перший недолік – застосовувані для відновлення Cr^{+6} , сульфіти, бісульфіти, тіосульфати мають не тільки відновлювальні, але й комплексоутворювальні властивості. Взаємодіючи з металами, вони утворюють комплекси, нездатні випадати в осад із реагентом (вапном) і взаємодіяти з іонообмінними смолами. Метали, що втримуються в комплексах, проходять усі системи очищення, надходять у навколишнє середовище й легко проникають у клітини рослин.

Другий недолік – для створення відповідного окислювально-відновного потенціалу. Відновник уводять у реакцію в надлишку й чим нижче концентрація Ме в гальваностоках, тим надлишок більше (до семиразового). У такий спосіб проблема ще більше загострюється. Застосування дешевого осаджувача – гідроксиду кальцію ускладнює ситуацію.

У його присутності вода стає твердою й не може застосовуватися в оборотних системах. Після осадження виходять великі обсяги токсичного гальванічного шламу, що не становить інтересу економічно. Усі ці проблеми багато науково-виробничих колективів вирішують методом очищення електрокоагуляцією на розчинних залізних або алюмінієвих електродах. Відновник і осаджувач виключені з технологічної схеми.

Крім того, іони заліза й алюмінію також є забруднювачами, володіють токсичністю, а також здатні до утворення колоїдних розчинів, які не можуть затримувати іонообмінні фільтри.

Для скорочення кількості гальванічних стоків, що підлягають очищенню на очисних спорудах, використовуються системи локального очищення гальванічних стоків. Для локального очищення використовуються іонообмінні й мембранні методи.

Гальванічні стоки, що пройшли локальне очищення, використовуються повторно для промивання деталей. Для локального очищення гальванічних стоків безпосередньо біля гальванічних ванн і ліній випускаються установки ОВ-100 й ОВ-300.

Установки очищення гальванічних стоків ОВ-100 та ОВ-300 призначені для витягу із промивних вод катіонів металів й аніонів, знесолення водопровідної води.

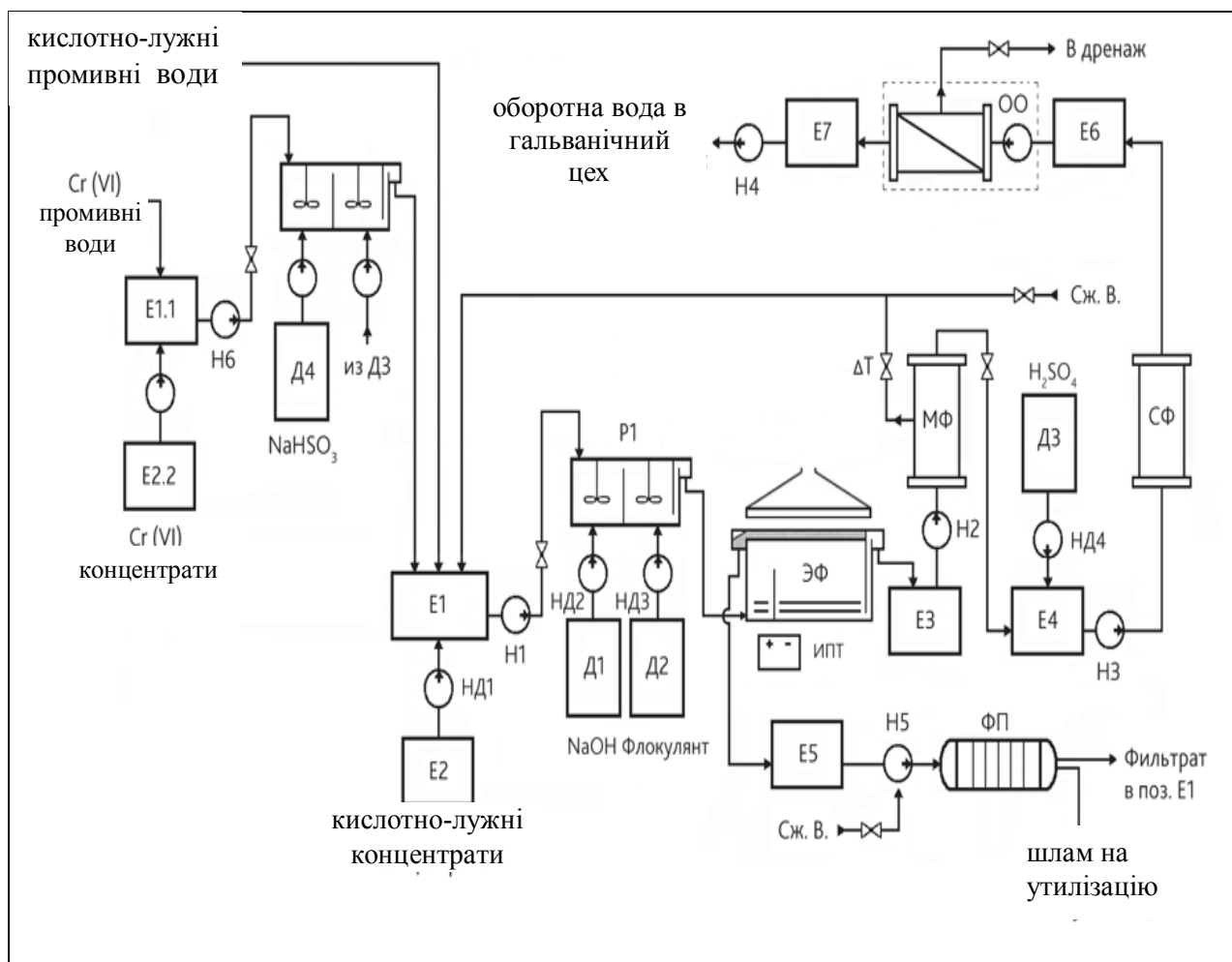


Рисунок 9.2 – Технологічна схема очищення СВ гальванічного виробництва:
P1 – реактор флокулятор; P2 – реактор знешкодження шестивалентного хрому; E1...E7 – накопичувальні ємності й усереднювачі; H1...H6 – насоси; Д/НД – установки готування й дозування реагентів; ЕФ – електрофлотатор; МФ – механічний фільтр; СФ – сорбційний фільтр; ОО – установка промислового зворотного осмосу; Сж. В. – подача стисненого повітря

Техніко-економічні переваги ОС, побудованих на основі розробленої технології:

- відсутність експлуатаційних витрат на заміну розчинних електродів порівняно з електрокоагуляторами, відсутність вторинного забруднення води іонами заліза й/або алюмінію через застосування нерозчинних електродів з титану;
- відсутність відстійників й, відповідно, малі займані ОС площі;
- відсутність експлуатаційних витрат на заміну дорогих іонообмінних смол і придбання реагентів для їхньої регенерації; тривалий термін служби конструкційних матеріалів: поліпропілен – до 50 років, нерозчинні електроди ЕФ – не менше п'яти років, керамічні мембрани – не менше п'яти років;

- порівняно низькі енерговитрати внаслідок низького енергоспоживання основного водоочистного обладнання;
- висока якість очищення стічних вод складного складу й, отже, зниження капітальних витрат на придбання установки зворотного осмосу для знесолення води у процесі організації оборотного водопостачання гальванічного виробництва.

Опис технологічної схеми

Відповідно до схеми, кислотно-лужні промивні води надходять до усереднювача E1, відпрацьовані концентровані кислотно-лужні розчини електролітів надходять до усереднювача E2. Відпрацьовані концентровані кислотно-лужні розчини з E2 дозуються в E1 дозувальним насосом НД1.

З усереднювача E1 стічні води насосом Н1 подаються в реактор-флокулятор P1. У реактор-флокулятор P1 дозувальними насосами НД2 і НД3 дозуються робочі розчини реагентів: їдкий натр для підтримки рН, гідроксидування важких металів, аніонний флокулянт для укрупнення дисперсної фази й інтенсифікації процесу електрофлотації. P1 установлюється вище рівня електрофлотатора ЕФ для організації самопливу рідини.

З P1 стічні води надходять в ЕФ, де за описаним нижче механізмом відбувається витяг дисперсних речовин. З ЕФ прояснена вода самопливом надходить у проміжну ємність E3. Прояснена вода з E3 насосом Н2 подається на комплекс автоматизованих механічних фільтрів МФ, де відбувається фінішне очищення води від залишкового вмісту дисперсних речовин.

Із механічних фільтрів очищена вода під залишковим тиском надходить у накопичувач E4, а сюди насосом НД4 дозується робочий розчин сірчаної кислоти для нормалізації рН.

Прояснена вода з нейтральним значенням рН з E4 насосом Н3 подається на сорбційний фільтр СФ із завантаженням активованого вугілля БАУ, де відбувається фінішне очищення води від залишкового вмісту розчинних органічних сполук. Зі СФ очищена вода під залишковим тиском надходить у накопичувач очищеної води E6.

Очищена вода, що відповідає вимогам до подачі на установку промислового зворотного осмосу ОО, з E6 надходить під тиском стовпа рідини на установку ОО з метою знесолення. При цьому від 50 до 70 % знесолоного фільтрату надходить під залишковим тиском у накопичувач знесолоної води E7, а від 30 % до 50 % солевміщуючого концентрату під залишковим тиском скидається в дренаж (змішується з господарсько-побутовими стічними водами підприємства для нормалізації сольового складу відповідно до вимог ПДК, потім скидається в міську каналізацію).

Знесолена вода з E7 насосом Н4 подається на повторне використання в гальванічних цех на операції промивання деталей і готування розчинів електролітів.

Флотоконцентрат з ЕФ надходить у збірник осаду E5, звідки діафрагменим пневматичним насосом подається на рамний фільтр-прес для зневоднювання. Збезводнений флотоконцентрат спрямовується на утилізацію регіональним підприємствам із перероблення твердих відходів.

Технологія передбачає попереднє знешкодження хромовміщуючих стічних вод у самостійному технологічному ланцюжку (Е1.1, Е2.2, Р2, Д4), де в реакторі Р2 шестивалентний хром повністю відновлюється до тривалентного бісульфітом натрію в кислому середовищі. Потім знешкоджений хромовміщуючий стік із Р2 надходить в Е1 для змішання із загальним потоком стічних вод.

Основним технологічним вузлом ОС є електрофлотатор з нерозчинними електродами. В ЕФ відбувається виділення мікропухирців електролітичних газів розміром 20–70 мкм. Мікропухирці захоплюють пластівці дисперсної фази й піднімають їх на поверхню води, де останні накопичуються в пінному шарі флотоконцентрата.

Флотоконцентрат видаляється з поверхні води автоматичним пінозбірним пристроєм у накопичувач для подальшої подачі на фільтр-прес. ЕФ забезпечує витяг не менше ніж 96 % дисперсних речовин від їхнього вихідного вмісту.

Допоміжним технологічним вузлом ОСВ є комплекс автоматизованих механічних фільтрів ФОВ із завантаженням суміші фільтроматеріалів різних фракцій. Механічні напірні фільтри (далі – МФ) становить вертикальний корпус із металу з гумованою внутрішньою поверхнею й дренажно-розподільними системами з нержавної сталі. МФ заповнені гранульованими завантаженнями, здебільшого це дроблений антрацит, керамзит, фільтроматеріал АС й/або ФС.

Фільтрація забрудненої води здійснюється зверху вниз. При цьому великі частинки дисперсних речовин затримуються в порах між гранулами завантаження, а дрібні частинки – за допомогою різних ефектів, насамперед електростатичного, прилипають до частинок завантаження. Чим більше забруднень затримано шаром завантаження, тим вужчими стають проходи для рідини й тим тонкіше здійснюється очищення води.

МФ обладнані пневматичними клапанами з автоматичною системою керування (далі – АСУ). Відповідно до налаштувань АСУ періодично здійснюються зворотне промивання МФ очищеною водою зі скиданням забруднень в Е1 і подальшим доочищенням в ЕФ.

Фільтрат МФ містить розчинні солі, такі як Na_2SO_4 , NaCl та NaNO_3 (у разі вихідної наявності іонів NO_3^-), і збирається в проміжній ємності для коректування рН перед скиданням у міську каналізацію або подачею на установку зворотного осмосу (ОО). Для захисту зворотно-осмотичних мембран від розчинних органічних забруднень перед установкою ОО встановлений сорбційний фільтр СФ.

Наведена сучасна ресурсозберігаюча технологія очищення стічних вод й оборотного водопостачання успішно реалізована на ОС гальванічних цехів ВАТ «Завод "Топаз"» (м. Москва), ФГУП «Арктика» (м. Северодвінськ), ВАТ «Північний прес» (м. Санкт-Петербург), ВАТ «Рубін» (м. Балашиха), ВАТ «Октава» (м. Тула) і інших промислових підприємств. Середньостатистичні результати очищення стічних вод гальванічних виробництв із застосуванням електрофлотації, механічній фільтрації та сорбції наведено в таблиці 9.3.

Таблиця 9.3 – Середньостатистичні результати очищення СВ
гальванічних цехів електрофлотацією, механічною фільтрацією й сорбцією

Показники	Концентрація, мг/л				
	Стічні води	Очищена вода після ЕФ	Очищена вода після МФ	ПДК МСК (ЕС)	ПДК РХ
Мідь, Cu^{2+}	2–20	0,5–1	0,1	0,5 (0,5)	0,001*
Нікель, Ni^{2+}	2–20	0,2–0,5	<0,08	0,5 (0,5)	0,01*
Цинк, Zn^{2+}	2–20	0,1–0,4	<0,04	2 (0,5)	0,01
Хром, Cr^{3+}	2–20	0,5–1,0	0,1	1 (0,5)	0,07
Залізо, Fe^{3+}	5–20	0,1	0,01	3 (2)	0,1
Алюміній, Al^{3+}	2–20	0,1	<0,04	1 (1)	0,04
Свинець, Pb	1–10	0,5–1,0	<0,1	0,1 (0,2)	0,006*
Кадмій, Cd^{2+}	1–10	0,5–1,0	0,1	0,01*(0,1)	0,005*
Сульфати, SO_4^{2-}	300–500	300–500	300–500	500	–
Хлориди, Cl^-	100–250	100–250	100–250	350	–
ПАВ	1–5	0,5–2,5	0,1–1	2,5	0,25
Нафтапродукти	2–15	0,5–1	<0,05	4 (0,5)	0,05

* Вимоги ПДК, недосяжні із застосуванням найкращих доступних технологій (НДТ) [10].

Відповідно до таблиці 9.3, технологія забезпечує глибоке очищення стічних вод від важких металів до рівня 0,04 мг/л і нафтопродуктів до 0,05 мг/л. Однак домогтися залишкового вмісту іонів міді й кадмію в очищеній воді менше за 0,04 мг/л при використанні найкращих доступних технологій практично неможливо.

9.3 Маловідходні іонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів

Унаслідок промивання деталей і виробів після процесів хромування, пасивації, окисдування тощо утворюються розведені хромвміщуючі стоки гальванічного виробництва, основними компонентами яких є хромовий ангідрид (суміш поліхромових кислот H_2CrO_4 і H_2CrO_7), хромати, біхромати.

Високі вимоги до якості очищення гальваностоків від сполук хрому обумовлені їхньою токсичністю. Гранично припустима концентрація Cr (VI) у воді, що скидається в каналізацію, становить 0,10 мг/дм³, а у водойми – 0,05 мг/дм³.

Реагентний метод і методи електро- гальванокоагуляції, які використовуються на вітчизняних підприємствах, не забезпечують необхідного ступеня очищення промивних стічних вод. При низьких концентраціях $\text{Cr}(\text{VI})$ не завжди ефективно проходить його відновлення до $\text{Cr}(\text{III})$ і відстоювання після нейтралізації розчину.

Особливо різко знижується ефективність відстоювання гідроксиду хрому (III) при використанні надлишку відновника. До недоліків згаданих методів належить також вторинне забруднення води реагентами, а також утворення шламів, утилізація яких є проблемою (виділення з них корисних продуктів - складний і дорогий процес). Найперспективним методом витягу хроматів із промивних вод гальванічних виробництв є іонний обмін.

Для хромування деталей зазвичай використовують електроліти, які містять, г/дм^3 : CrO_3 – 250-280; H_2SO_4 – 2,5-2,8, Cr^{3+} – 3-5. З досвіду експлуатації гальванічних виробництв відомо, що для якісного промивання деталей концентрація вихідного електроліту в промивній ванні не повинна перевищувати 10-20 мг/дм^3 . Для хроматів ця величина становить 10 мг/дм^3 . Дослідження, проведені у виробничих умовах на заводі «Еталон» (м. Київ), а також у лабораторних умовах на деталях, які випускаються заводом, довели, що без значного погіршення якості покриття в промивній ванні концентрація хроматів може підтримуватися на рівні 30–50 мг/дм^3 , а для деталей простої форми – 80 мг/дм^3 .

Схему іонообмінної установки очищення промивних стічних вод процесу хромування представлено на рисунку 9.3. У технологічній схемі після ванни хромування встановлюється ванна вловлювання. Її використання дає змогу значно знизити винос електроліту в промивні води: деталі після процесу електролізу спочатку промиваються в ній, потім вони надходять у проточну промивну ванну.

Ванна вловлювання непротічна, тому в ній відбувається нагромадження вихідного електроліту. Розчин у цій ванні буде тим самим електролітом, що й у ванні електролізу, тільки більше низької концентрації. Процес хромування відбувається при 55 °C з інтенсивним виділенням газів, що призводить до значного випарювання електроліту.

Очевидно, для коректування обсягу ванни доцільно використати розчин з ванни вловлювання. Це дає змогу зменшити витрати на коректування складу електроліту й знизити навантаження на іонообмінні фільтри. Обсяг розчину у ванні вловлювання коректується свіжою водою.

Результати розрахунків і досліджень довели, що при використанні ванни вловлювання втрати води з ванни промивання знижуються більше ніж у 20 разів. Це дає змогу значно зменшити обсяг іонообмінних фільтрів або збільшити строк їхньої експлуатації між регенераціями. При цьому значно скорочуються витрати реагентів на відновлення іонів й обсяги регенераційних розчинів, які необхідно переробляти.

У запропонованій установці вода за допомогою насоса (4) циркулює через катіонообмінний фільтр, аніонообмінні фільтри A1, A2 і ванну промивання деталей. Катіонообмінний фільтр заповнений катіонітом КУ-2-8 і

призначений для сорбції катіонів Cr^{3+} (III). Аніоніт у фільтрі А1 призначений для вловлювання хроматів. Сульфати затримуються на фільтрі А2. Промивна вода циркулює у циклі до насичення фільтра А1 хроматами-аніонами, які можна зафіксувати по сигнальному пристрою - прозорій проточній ємності, заповненій свіжим аніонітом тієї самої марки.

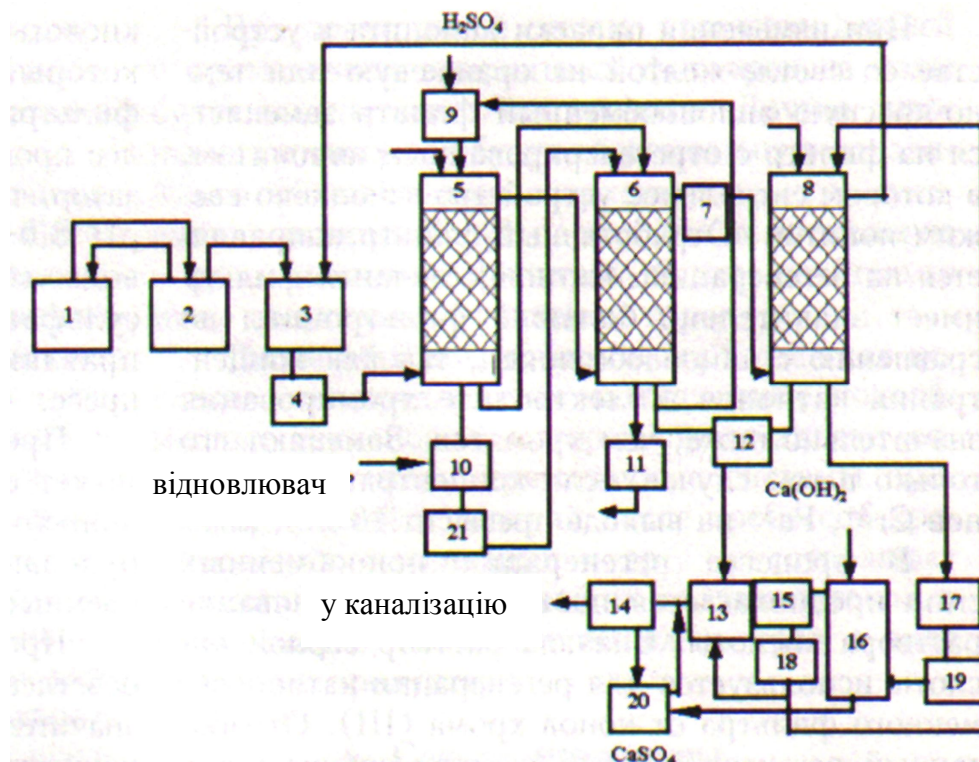


Рисунок 9.3 – Схема іонообмінної установки очищення промивних стічних вод процесу хромування:

1 – ванна хромування; 2 – ванна вловлювання; 3 – ванна промивання деталей; 4, 18, 19, 21 – насоси; 5 – катіонообмінний фільтр; 6 – аніонообмінний фільтр (А1); 7 – сигнальний пристрій; 8 – аніонообмінний фільтр (А2); 9 – витратний бак кислоти; 10 – бак розчину відновника; 11 – бак сульфату хрому; 12 – усереднювач промивних вод; 13 – нейтралізатор; 14 – тонкошаровий відстійник; 15 – бак розчину ванна; 16 – реактор; 17 – бак відпрацьованого регенерованого розчину; 20 – фільтр-прес

При зміні забарвлення аніоніту в пристрої з ясно-жовтого на жовтогарячий або темно-червоний аніонообмінний фільтр замінюється на фільтр із регенованим аніонітом, у якому сигнальний пристрій заповнений свіжим іонітом. Відпрацьований фільтр направляється на регенерацію. Катіонообмінний фільтр має значно більший фільтрувальний цикл порівняно з аніонообмінним, оскільки концентрація катіонів в електроліті хромування значно нижче, ніж хроматів. Заміняють його тільки в тому разі, якщо концентрація катіонів Cr^{3+} , Fe^{3+} на виході перевищує 10 мг/дм^3 .

У процесі регенерації іонообмінних смол передбачається повторне використання розчину кислоти. Спочатку розчин сірчаної кислоти використовується для регенерації катіонообмінного фільтра від іонів хрому (III). Відпрацьований регенераційний розчин збирають у бак (10), у який

додають відновник (гліцерин або цукор), коректують концентрацію сірчаної кислоти й подають його на регенерацію фільтра А1 від хроматів. Відпрацьований розчин, що містить сульфат хрому, збирають у бак (11) і відправляють на підприємства з оброблення шкіри.

Аніоніт А2 регенерують за безстічною технологією. Через нього з бака (15) пропускається розчин вапна, приготовлений у реакторі. Відпрацьований регенераційний розчин, що містить сульфат кальцію й надлишок вапна, збирають у бак відпрацьованого регенераційного розчину, звідки насосом (19) подають у реактор. У ньому відбувається насичення розчину вапном з одночасним осадженням з нього $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$.

Насичений вапном і сульфатом кальцію розчин, що містить 30–35 мг-екв/дм³ кожного із цих компонентів, подають у бак розчину вапна й далі на повторну регенерацію фільтра А2. Отже циркуляція регенераційного розчину в замкнутому контурі «бак (15) – фільтр (8) – бак (17) – реактор (16) – бак (15)» визначає безстічну регенерацію аніонітного фільтра А2. При цьому концентрація аніоніту в робочій обмінній ємності підтримується на рівні 1200 г-екв/м³.

Для промивання іонообмінних фільтрів від кислоти вода проходить послідовно через катіонообмінний фільтр і фільтр А1. Перша порція промивної води направляється в бак (9) для готування розчину кислоти, залишок подається в усереднювач (12), у який також подається промивна вода з фільтра А2, що містить залишки вапна.

Далі промивні води направляють у нейтралізатор, де за допомогою вапна встановлюють $\text{pH} = 8,0\text{--}8,5$. Після тонкошарового відстійника вода скидається в каналізацію. Осад сульфату кальцію з реактора й відстійника направляють для зневоднення на фільтр-прес.

Представлена технологія регенерації може здійснюватися на місці використання іонообмінних фільтрів або в спеціально обладнаному пункті, куди транспортують з'ємні компактні фільтри.

Промивні води після ванн пасивації та прояснення покриттів зазвичай містять у значних концентраціях нітрати (на рівні концентрації хроматів). Для очищення таких промивних стоків можна використовувати іонообмінні установки двох типів: такі, що забезпечують циркуляцію промивної води або призначені для очищення води в прямоточній системі.

Циркуляційна установка обладнана насосом, катіонообмінним фільтром, заповненим катінітом КУ-2-8 у H^+ -формі, аніонообмінним фільтром А1, заповненим аніонітом АВ-17-8, і сигнальним пристроєм. Крім того, в установці використовують аніонообмінний фільтр А2, заповнений слабкоосновним аніонітом АН-511, призначеним для сорбції нітратів. Фільтр А2 заміняють одночасно з фільтром А1. Обсяги їх розраховують за співвідношенням хроматів і нітратів з урахуванням обмінних ємностей іонітів.

Обсяг катіонообмінного фільтра розраховується відповідно до концентрацій катіонів Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} тощо, присутніх у промивній воді. У цьому разі катіоніт регенерують розчином сірчаної кислоти. Відпрацьований розчин обробляють у такий спосіб. В електролізері виділяються металевий

кадмій і частково цинк. Після електролізера розчин направляють у нейтралізатор, де його рН доводять до 8,0–8,5, і далі в тонкошаровий відстійник.

Осад із відстійника подають на фільтр-прес, а вода скидається в каналізацію. Аніоніт А1 регенерують кислим розчином відновника (гліцерину або цукру). Відпрацьований електроліт направляють на підприємство з обробці шкіри. Аніоніт А2 регенерують розчином гідроксиду калію. Отриманий розчин нейтралізують у реакторі 13 азотною кислотою та направляється на установку, де відбувається випарювання розчину з одержанням калійної селітри коштовного мінерального добрива.

Промивні води змішують у реакторі, де вапном рН доводять до 8,0–8,5, відстоюють у відстійнику й скидають у каналізацію. Перші порції промивних вод використовують для готування розчинів відповідних реагентів.

Цю технологію регенерації іонообмінних фільтрів краще застосовувати на спеціально обладнаних пунктах, куди транспортують з'єні іонітні фільтри.

Прямоточну систему промивання деталей від хромвміщуючих електролітів слід використовувати в тому разі, якщо концентрації нітратів у промивній воді близькі до концентрацій хроматів, а концентрації катіонів металів не перевищують значення їх гранично припустимих скидань у каналізацію. У цьому разі відпадає необхідність катіонування води й застосовують двохстадійне аніонування. На обох стадіях використовують аніоніт АВ-17-8.

Друга стадія аніонування застосовується для запобігання проскакування хроматів зі стічною водою. У цьому разі при заповненні хроматами аніонообмінного фільтра 1-го ступеня, про що можна судити по сигнальному пристрою, він направляється на регенерацію. Фільтр 2-го ступеня переміщається на місце фільтра 1-го ступеня аніонування, а на його місце встановлюють регенерований фільтр.

При відбудовній регенерації можна використовувати HCl або H_2SO_4 . При прямоточній системі промивання деталей із застосуванням аніонітних фільтрів із води будуть виділятися тільки хромати. Інші аніони зі стічних вод будуть скидатися в каналізацію. Концентрації нітратів, хлоридів, сульфатів, які будуть переходити в промивну воду з іонітних фільтрів, будуть значно нижче припустимих рівнів скидання.

ТЕМА 10 МЕТОДИ ІОННОЇ ФЛОТАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОНОАКТИВНИХ ПАР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТИЧНИХ ВОД

1. Очищення промислових скидів із використанням хімічно активних реагентів.
2. Доочищення виробничих стічних вод від іоноактивних ПАР
3. Відстійники, шламонакопичувачі і хвостосховища стічних вод і шламів гірничометалургійних підприємств, їх вплив на водний басейн р. Дніпро

10.1 Очищення промислових скидів із використанням хімічно активних реагентів

Одним з ефективних способів витягу й поділу сполук рідких і важких кольорових металів зі стічних вод є *іонна флотація*. Її характеризують висока продуктивність, універсальність й економічність. Унаслідок взаємодії полііонів металу (Me) зі збирачами – поверхнево-активними речовинами (далі – ПАР) утворюються осади, які відокремлюють від розчину флотацією або фільтруванням для подальшої утилізації [13, 14].

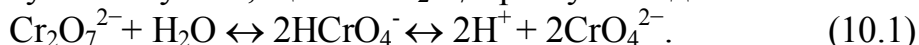
Склад стічних вод, що утворюються після технологічних процесів у кольоровій металургії, у цехах гальванічного виробництва машинобудівних заводів, визначається, хімічним складом сировини, технологічними режимами й ін.

Для розроблення ефективної схеми очищення стічних вод від іонів Me необхідно мати уяву про сполуки, у яких вони перебувають у водяних розчинах. Оскільки хімічне поведіння кожного Me має свої особливості, необхідно їх урахувати в кожному конкретному випадку.

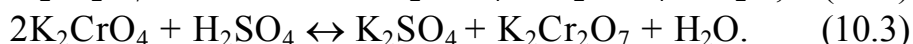
Хімічне поведіння металів у водяному розчині

Катіони Me у водяному розчині перетерплюють перетворення внаслідок гідратації й комплексоутворення й утворюють асоціати різного складу та знаку. Комплексоутворення призводить також до того, що в розчинах Me одночасно може бути присутнім як у катіонній, так і в аніонній формі. Із видаленням однієї форми рівновага зрушується убік її утворення [15].

Поведіння Cr у розчині досить складно. Вихідні розчини біхроматів мають кислу реакцію, обумовлену тим, що іон $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ реагує з водою:



Додавання до розчину кислот зміщує рівновагу вліво, а підлугування розчину – вправо. Відповідно до цього з біхроматів легко виходять хромати і навпаки:



Ніобій у водяному розчині утворює поліядерні аніони різного складу, серед яких найбільш вивчені $\text{HNb}_6\text{O}_{19}^{7-}$ та $\text{Nb}_6\text{O}_{19}^{8-}$. У слабкокислих розчинах, що містить фторид-іони, утвориться сіль із аніоном $(\text{NbOF}_6)^{3-}$. При його гідролізі утворюються складні сполуки типу $[\text{NbO}_x\text{F}_y \cdot 3\text{H}_2\text{O}]^{5-2x-y}$, де крайніми формами орієнтовно є HNbF_6 та $\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$.

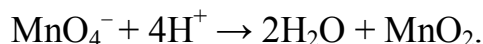
Подібне поведіння властивим для перехідним елементам (Ti, V, Nb, Mo, W тощо), які знаходяться у вищому окисленому стані, що обумовлено утворенням коротких хімічних зв'язків «катион-аніон» або прагненням знизити великий позитивний заряд катіона шляхом реалізації більш координаційних чисел.

Форма знаходження Nb у розчині здебільшого залежить від константи рівноваги.

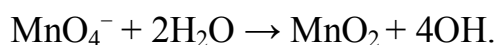
Особливості переходу різних форм Mn у MnO_2 мають певне значення під час очищення стічних вод. Розчини, що містять KMnO_4 , повільно розкладаються. У кислому середовищі протікає такий процес:



У нейтральному і слабкокислому середовищі перманганат відновлюється до диоксиду Mn:



У лужному розчині:



При подальшому підлужовуванні ($\text{pH} > 10,0$) утвориться манганат:



Виділення іонів металів із розчинів

Серед катіонних збирачів широкого практичного використання набули аліфатичні аміни та їхні солі, наприклад, АНП – амін на основі фракцій жирних кислот C_{17} – C_{20} . тощо. Значно збільшився останнім часом інтерес до класу катіонних ПАР – четвертинних амонієвих основ (далі – ЧАО), що володіють низкою переваг перед амінами: більш високою розчинністю, стійкістю до лужності середовища, антикорозійністю й нетоксичністю.

Для виділення металів з розчинів, що містять аніони металів, застосовуються такі ЧАО й аміни:

1) алкілтриметиламоній хлорид (далі – АТМ) – $[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}(\text{CH}_3)_3\text{N}]\text{Cl}$, де $n = 18$ – 20 , середня молекулярна маса (с. м.м.) – 278 г;

2) алкілбензилдиметиламоній хлорид (АБДМ), – $[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2)(\text{CH}_2)_2\text{N}]\text{Cl}$, де $n = 18$ – 0 , с. м. м. – 355 г.

Усі технічні суміші ЧАО становлять 50–75 % розчини активної речовини в ізопропіловому спирті. З амінів застосовуються препарати АНП-2 ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{NH}_2\text{HCl}$ та $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{NH}_2\text{HCl}$), що мають с.м.м. 247 та 264 г відповідно.

Аліфатичні аміни й ЧАО в кислому середовищі перебувають переважно в іонній формі, а в лужному середовищі – у молекулярній. Осади, що утворюються внаслідок взаємодії поліаніонів Nb, Cr, Mn й інших Me з катіонними ПАР містять селективно вилучуваний Me й можуть бути використані, наприклад, у феросплавному виробництві тощо практично без додаткової переробки.

Ефективність процесу здебільшого залежить від pH оброблюваного розчину. Досвідчені дані з впливу pH середовища на ступінь переходу речовини в осад представлено на рисунку 10.1.

Падіння ступеня витягу Me поза оптимальним інтервалом pH пов'язане зі зменшенням ступеня дисоціації збирача, протіканням процесів гідролізу;

переходом Me в іншу форму; конкурентною взаємодією ПАР, наприклад, з кислотою, що послабляє його зв'язок із Me тощо.

Особливістю витягу аніонів Cr є те, що їхня взаємодія з ПАР можлива в кислому середовищі ($pH = 0,0-0,5$). При цьому ефективність процесу залежить від різновиду кислоти (HCl , HNO_3 , H_2SO_4), що є присутніми у розчині.

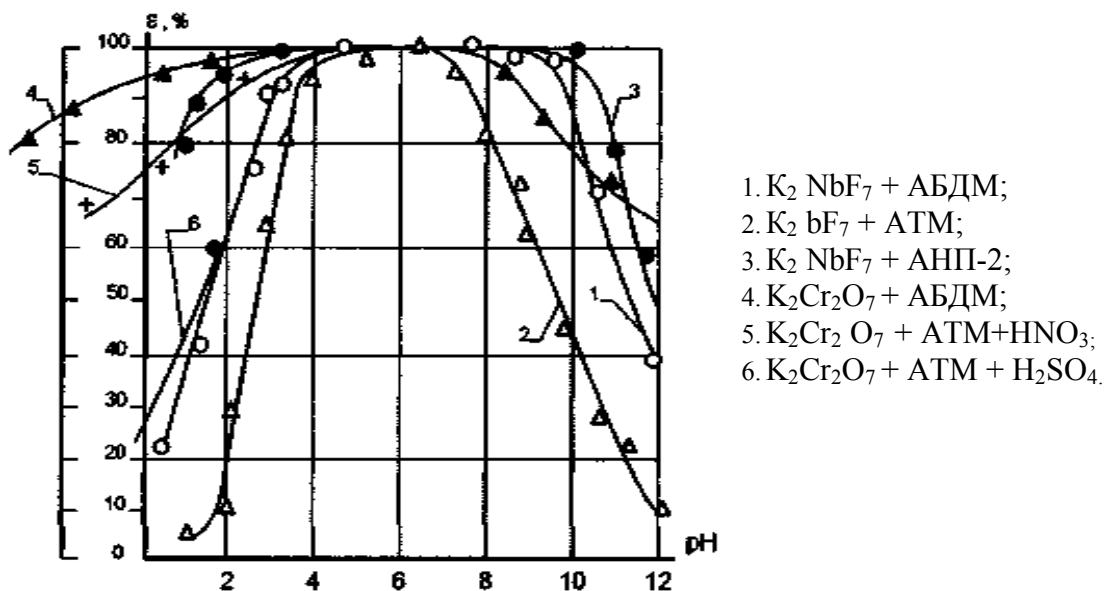


Рисунок 10.1 – Залежність ступеня витягу Me від pH середовища, різновиду збирача й кислоти

Найменш негативно позначається на витягу Cr соляна кислота. Процес максимально ефективний навіть при її концентрації 10 моль/дм^3 . При підлогуванні розчину утворюється усе більше хроматів і ступінь витягу падає, оскільки для їхнього повного витягу потрібно по стехіометрії ПАР удвічі більше, ніж при виділенні біхроматів. При $pH > 12,0$ взаємодія хроматів й ПАР остаточно пригнічується. Оптимальні значення досягали для Cr при $pH = 0,5-4,5$. Витрата ПАР залежить від хімічної форми знаходження Me в розчині та його концентрації.

У разі флотації Cr підвищення домішкових концентрацій $NaCl$, $CaCl_2$, $NaNO_3$, Na_2SO_4 до $0,1 \text{ моль/дм}^3$ при $pH=4,7-5,2$ знижує ступінь витягу хрому до 70-75 %. Наявність такої ж кількості домішкових солей при $pH=1,0-1,5$ не впливає на перехід Cr у піну.

Отже вивчення можливості витягу аніонних сполук Me з помірковано кислих розчинів ($pH = 0,5-4,0$) при взаємодії їх з катіоноактивними ПАР показало, що ступінь взаємодії використовуваних реагентів із Me характеризується величинами, що убують у ряду $АНП-2 > АТМ > АБДМ$.

10.2 Доочищення виробничих стічних вод від іоноактивних ПАР

Метод піноутворення

Досить широке поширення набув термін «доочищення» промислових стічних вод, під яким маєтся на увазі комплекс заходів й апаратурно-технологічних схем, що доповнює сформовані технологічні схеми очищення

виробничих стічних вод (далі – ВСВ) конкретного складу від використовуваних у технологіях реагентів-збирачів, замість яких застосовують катіоно- або аніоноактивні ПАР.

Розробка методів доочищення ВСВ дає змогу проектувати й експлуатувати так звані очисні «хвостові» установки, за допомогою яких створюються безстічні й маловідходні системи водопостачання промислових підприємств. Доочищення ВСВ призначене для видалення надлишкової кількості ПАР, присутність яких строго нормується.

Застосування методу іонної флотації в технологічній практиці потребує введення в оброблювані розчини поверхнево-активних збирачів, що неминуче призводить до появи останніх у ВСВ певного підприємства. Водночас створення замкнених систем промислового водопостачання вимагає вирішення питань очищення стоків від надлишку ПАР, що вводять. Крім цього, проблема очищення ПСВ від ПАВ давно має самостійне практичне значення.

Одним з можливих методів очищення ВСВ від ПАР є метод піноутворення. Іноді в літературі метод називають пінним фракціонуванням, пінною сепарацією, пінною флотацією тощо. Сутність методу піноутворення полягає в адсорбції ПАР границею розділу фаз «рідина–газ» й у безперервному знятті поверхневого шару, що утворюється. При цьому необхідно дотримання принаймні двох умов: ПАР, що виділяються повинні володіти гарними піноутворювальними властивостями й піна повинна бути стабільною. Застосування даного методу й опис способів його здійснення висвітлені в роботах [13-17].

ДП УкрНТЦ «Енергосталь» виконано низку комплексних досліджень процесів очищення ВСВ від іоноактивних ПАР методами іонної флотації. Процес піноутворення оцінювали за такими параметрами: ступінь витягу ПАР у пінну фракцію – S , %; ступінь зміни обсягу системи $R_v = V_{\text{пін}}/V_{\text{ост}} \cdot t$, де $V_{\text{ост}}$ – кінцевий об'єм розчину; $V_{\text{пін}}$ – об'єм пінного продукту; t – час протікання процесу.

Для виділення з розчинів застосовували: алкілтриметиламоній хлорид (АТМ) – $[C_nH_{2n+1}(CH_3)_3N]Cl$, де $n = 18-20$, середня молекулярна маса (с.м.м.) – 278 г; алкілбензилдиметиламоній хлорид (далі – АБДМ), – $[C_nH_{2n+1}(C_6H_5CH_2)(CH_2)_2N]Cl$, де $n = 18-20$, с.м.м. – 355 г. Використані також фракції АБДМ, що мають різну довжину вуглеводних радикалів. Із амінів застосовували АНП-2 ($C_{14}H_{29}NH_2HCl$ і $C_{15}H_{31}NH_2HCl$), що мають с.м.м. 247 та 264 г, відповідно. Як аніонні ПАР застосовували ДБСNa – додецилбензосульфونات натрію $[C_{12}H_{25}(C_6H_4SO_4Na)]$, набір алкіларилсульфокислот (далі – ААСК).

Аліфатичні аміни й ЧАО в кислому середовищі перебувають переважно в іонній формі, а в лужному середовищі – у молекулярної [15].

Дані проведених досліджень із витягу ПАР у пінний шар залежно від їхньої концентрації в розчині свідчать про те, що зі збільшенням довжини ланцюжка ПАР до $n = 16$ зростає стійкість піни, збільшується ступінь витягу ПАР. Значення параметра R_v при цьому великі (до 1,0 і більше), оскільки піна обводнена.

Присутність електролітів позначається на піноутворювальній здатності розчинів ПАР і на стійкості піни, що утвориться.

Ступінь витягу іоногенних ПАР у піну залежно від концентрації солей відрізняється прямолінійністю.

На ступінь витягу ЧАО у пінну фракцію впливають валентність і походження іонів, до того ж валентність робить значно більший вплив.

Відомо [16], що ефективність флотаційного витягу Ме з технологічних розчинів або очищення від них промстоків (далі – ПС) визначається сорбцією ПАВ флотованими осадами. Це зажадало дослідження впливу на виділення ЧАО в пінну фракцію осаду $\text{Al}(\text{OH})_3$, що набув широкого застосування в технології очищення ПС як коагулянт. Був використаний AlCl_3 , який вводили в розчин, що містить АТМ або АБДМ. Осадження гідроксиду здійснювали розчином NaOH . Осад, що утворився, сорбує молекули ПАР і його поверхня здобуває гідрофобний характер.

Сорбційна рівновага в системі «ЧАО – осад» установлювалася після осадження $\text{Al}(\text{OH})_3$ практично миттєво, і помітного перерозподілу АТМ й АБДМ між розчином й осадом надалі не відбувалося. Оскільки ЧАО у водному середовищі дисоціює на аніон хлору і позитивно заряджений вуглеводний радикал і при $\text{pH} > 7,0$ сумарний заряд поверхні гідроксидів негативний, то досвіди проводили в слабколужному середовищі.

Технологічна схема промислової установки очищення ПС від ПАВ наведена на рисунку 10.2.

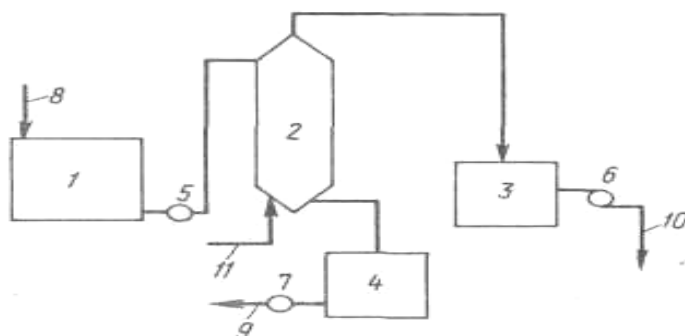


Рисунок 10.2 – Принципова технологічна схема установки очищення ПС від ПАВ:

*1 – приймальний резервуар; 2 – флотоколонна; 3 – пінний продукт;
4 – очищена вода; 5-7 – насоси перекачування стоків, пінного продукту й очищеної води; 8 – стоки, що містять ПАР; 9 – очищена вода в оборотний цикл; 10 – пінний продукт на спалювання; 11 – стиснене повітря*

Однією з найважливіших характеристик, що впливають на перехід іоногенних ПАР у пінну фракцію, є величина pH розчину. Ступінь виносу ПАР у пінний шар збільшується із підвищенням кислотності або лужності розчину. У нейтральній області pH величина виносу АТМ у піну не перевищує 40 %, АБДМ – 80 %, ДБСNa – 60 %. При концентрації в розчині H_2SO_4 вище 0,1 моль/дм³ витяг АТМ становить приблизно 100 %, АБДМ – 91 %, ДБСNa – 90 %. Присутність у розчині 0,01 моль/дм³ NaOH збільшує перехід АТМ у пінну фракцію – до 80 %, АБДМ – до 90 %, ДБСNa – до 90 %.

Кінетика процесу флотаційного виділення з водяних розчинів ПАР, як і будь-якого процесу, що відбувається в гетерогенній системі, складна й залежить від багатьох факторів: рН середовища, зміни поверхневого натягу розчину із видаленням з нього ПАР; часу встановлення істинної термодинамічної рівноваги між кількістю ПАР, адсорбованим на поверхні пухирця, і його концентрацією в розчині; обсягу системи через віднесення з піною певної кількості води.

10.3 Відстійники, шламонакопичувачі та хвостосховища стічних вод і шламів гірничометалургійних підприємств і їх вплив на водний басейн р. Дніпро

Учені й фахівці України приділяють досить серйозну увагу проблемам очищення СВ від розчинних токсичних сполук ВРМ й утилізації одержуваної твердої фази, зниженню енергетичних витрат на всіх ступенях технологічного процесу виробництва промислової продукції.

Стічні води й шлами гальванічних виробництв, що містять іони важких і рідких металів, є одним із головних джерел забруднення водойм, водоносних горизонтів і ґрунтів сільськогосподарських угідь. Відомі методи очищення технологічних СВ зводяться до їхнього перероблення й виділення їх у вигляді гальваношламів. При неефективному очищенні гальваностоків ВРМ попадають у водойми, ґрунт і трофічними шляхами харчування доходять до організму людини.

Аналогічна ситуація виникає при вилуговуванні ВРМ кислотними дощами й природними органічними кислотами зі шламів у місцях їхнього складування й поховання. Отже коло замикається, і розчини солей ВРМ зрештою попадають у водний басейн.

На сьогодні спостерігається забруднення поверхневих і ґрунтових вод унаслідок скидання неочищених й умовно очищених стічних вод підприємств гірничо-металургійного комплексу, надходження фільтрату з обсягу шламонакопичувачів (далі – ШН) або хвостосховищ, розміщених на території підприємств або поблизу джерел питного й господарського водопостачання й утворюючих техногенні джерела забруднення постійної дії.

Надходження значних обсягів Ме-вміщуючих СВ гальванічних виробництв машинобудівних підприємств на очисні споруди комунального господарства міст України призводить до виникнення низки серйозних еколого-економічних, соціальних проблем і проблем, зв'язаних зі здоров'ям населення.

Сполуки ВРМ, що втримуються в складі стічних вод, у вигляді солей різного ступеня розчинності, попадають у поверхневі й ґрунтові води. У результаті виникає низка екологічних проблем:

- губиться природна здатність водойм до самоочищення;
- порушується функціонування активного мулу на станціях очищення міських стоків;
- гальваностоки й шлами неконтрольовано взаємодіють із відходами металургійної, хімічної, нафтохімічної, харчової промисловості, крім того, при стандартному хлоруванні води на станціях водозабору додатково виникають органічні хлорпохідні;

- складні металорганічні сполуки, що утворюються високотоксичні, не видаляються кип'ятінням, володіють мутагенною і тератогенною дією, придушують імунітет.

Запобігання скидання Ме-вміщуючих СВ у міську каналізаційну мережу забезпечить досягнення таких позитивних результатів:

- можливість переробляти активний мул міських очисних споруд, що не вміщують токсичних сполук важких металів, у вискоєфективні добрива для потреб сільського господарства;

- одержання з утилізованих осадів, виділюваних з очищуваних СВ, дорогої та дефіцитної імпортозамінної продукції у вигляді комплексних лігатур і феросплавів для потреб металургійної промисловості;

- захист навколишнього природного середовища й здоров'я населення від техногенного забруднення, оскільки існуючі методи біологічного очищення комунальних міських стоків не дають змогу витягати з них іони ВРМ (Cu^{+1} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} , Ni^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} , $\text{Cr}^{+(4-6)}$), сорбіруємих активним мулом.

У зв'язку із цим виникає необхідність розробки нових технологій скорочення обсягів промислових стоків, надходження токсичних фільтратів зі шламонакопитель (ШН) і хвостосховищ у водний басейн.

У басейні р. Дніпро на території України виділені три головні зони забруднення поверхневих і підземних вод, які сформовані під впливом техногенного впливу.

Перша – водоносні горизонти в районах розміщення хімічної промисловості. У межах її виділена підзона впливу підприємств нафтопереробної галузі - басейни рік Березина, Оріль, Сула й Псел, і підзона впливу підприємств харчової й цукрової промисловості – Житомирська, Вінницька, Черкаська, Сумська й частково Полтавська й Харківська області.

Друга – зона розробки покладів вугілля, залізних і марганцевих руд і підприємств чорної металургії – басейн низов'я Дніпра, Дніпропетровська й Запорізька області. Тут виділяють підзону розміщення підприємств гірничо-металургійного комплексу – Криворіжжя, Нікополь-Марганецький, Дніпропетровський, Дніпродзержинський і Запорізький. Найбільші накопичувачі крупнотонажних відходів і скидань розташовані в середньому плині р. Дніпро в Дніпропетровському, Дніпродзержинському і Західно-Донбаському промислово-економічному районах, які становлять ~75 % скидань забруднених СВ. До них належать ШН Північного, Центрального, Південного і Новокриворізького гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя, Полтавського, Орджонікідзевського ГЗКів, Кременчуцького нафтопереробного заводу, металургійного комбінату «Запоріжсталь», Дніпровського алюмінієвого комбінату тощо.

Третя – зона з розвиненим зрошувальним землеробством півдня України.

Басейн р. Дніпро. Найпоширенішими забруднювальними речовинами у водних об'єктах басейну залишаються сполуки ВРМ (іони Mn, Cu, Zn, Fe, Pb), сполуки азоту, феноли. За даними гідрохімічних спостережень середній вміст розчиненого у воді кисню в більшості рік і водоймищ було достатнім і знаходилось у межах 6,06–14,67 мг/дм³.

Загалом у ріках басейну за більшістю показників якість води істотно не змінилася. Середньорічні концентрації основних забруднювальних речовин у басейні Дніпра перевищували гранично припустимі концентрації, а за деякими перебували на рівні високого забруднення. Середньорічні концентрації азоту амонійного й нафтопродуктів були в межах <1-4 ПДК, азоту нітритного – <1-12 ПДК, сполук Zn – <1-5 ПДК, фенолів – <1-6 ПДК, Fe – <1-7 ПДК, Cr^{+6} – 1-13 ПДК, Mn – 1-18 ПДК, сполук Cu – 2-23 ПДК.

Важливим напрямом у дослідженні процесів ресурсозбереження та скорочення негативного впливу ШН і хвостосховищ гірничо-металургійних підприємств на водний басейн і здоров'я людини є вивчення складу й шляхів міграції в ґрунті поверхневих стоків і фільтратів, що містять розчинні сполуки важких і рідких металів ВРМ.

Головними різновидами впливу ШН на навколишнє природне середовище (далі – НПС) є діяльність основних і допоміжних виробництв: надходження в атмосферу, водний басейн, ґрунтові води й на земну поверхню токсичних компонентів сировини, напівпродуктів, відходів. На рисунках 10.3–10.4 наведено принципову схему надходження в поверхневі й ґрунтові води й ґрунт іонів ряду ВРМ і вміст їх у ґрунті біля шлакошламовідвалів ВАТ «Запоріжсталь».

Головними джерелами впливу промислових підприємств на водний басейн є скидання неочищених й умовно очищених СВ у поверхневий водний басейн, надходження фільтратів і поверхневих стоків із території шламошлаковідвалів, осадження твердої фази організованих і неорганізованих пилегазових викидів у питні, рибогосподарські й рекреаційні водні об'єкти.

Індикатори забруднення НПС – хімічні сполуки, що відповідають складу сировини, напівпродуктів і промислових відходів (далі – ПВ) з урахуванням фону в районі розміщення підприємства-забруднювача.

Об'єкти збитку – водойми в межах розсіювання індикаторів забруднення, антропогенні об'єкти, ландшафти. Загалом визначають потенційний, запобігальний, різновид збитку, що компенсує, ліквідований і залишковий різновиди збитку НПС [13, 15, 16]. У басейні Дніпра налічується більше 300 накопичувачів, з яких 279 – ШН та 22 – хвостосховища.

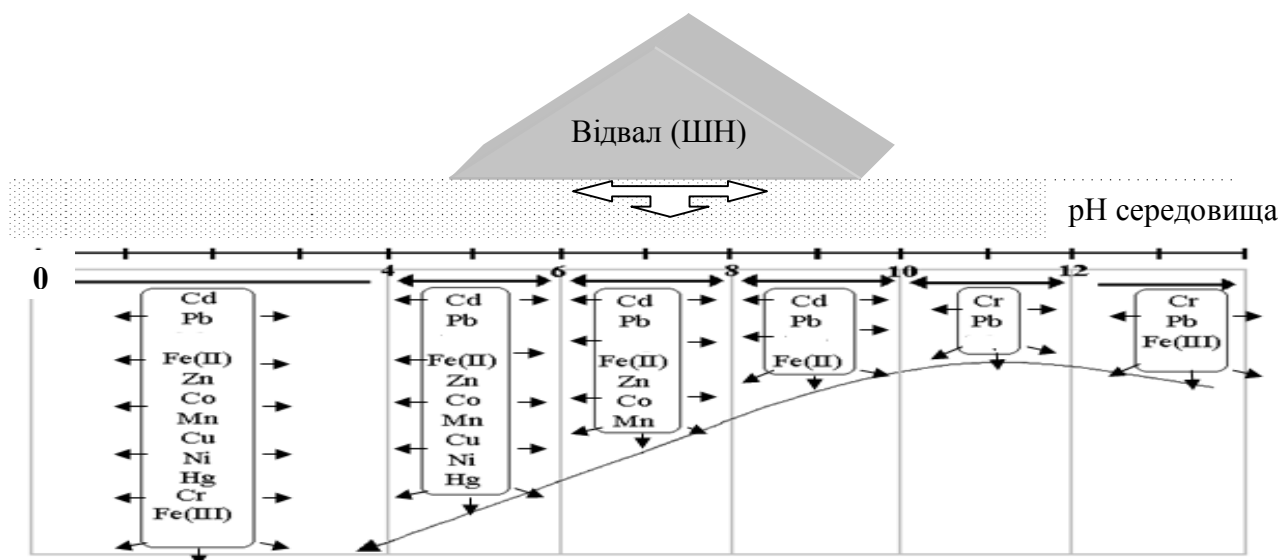


Рисунок 10.3 – Схема надходження в поверхневі й ґрунтові води й ґрунт іонів ВРМ зі ШН та шламовідвалів

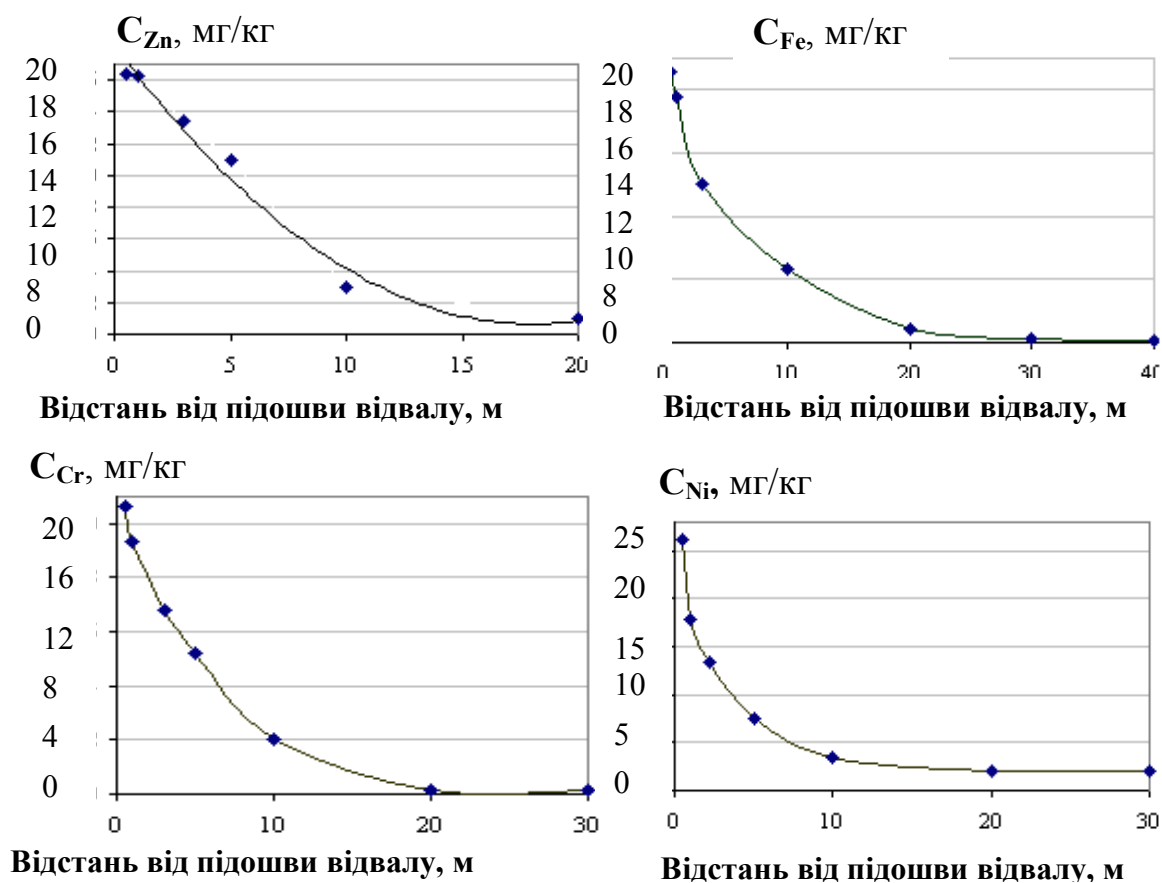


Рисунок 10.4 – Вміст ВРМ у ґрунті біля шламо-шлаковідвалів [4–8], біля водоочисної споруди «балка Капустянка» комбінату «Запоріжсталь»

Близько 50 % накопичувачів сконцентровано в південній частині басейну, особливо в Дніпропетровській області. Зазвичай це фільтрувальні

накопичувачі, з яких у поверхневі води й підземні горизонти надходять нафтопродукти й розчини солей. Сьогодні 40 % накопичувачів басейна належать до особливо небезпечних (рис. 10.5).



Рисунок 10.5 – Фактори впливу шламонакопичувача на водний басейн і почву

ШН комбінату в балці Капустянка ємністю 10,5 млн м³ запроектований Харківським Водоканалпроектом. Скидання в нього завислих речовин становить 1,1 млн т/рік, термін служби – 25 років, площа – 135 га, експлуатується з 1958 р.

У ШН у балці Капустянка передбачене скидання СВ і шламів:

- ВАТ «Запоріжсталь» – шламів мокрих газоочисток аглофабрики, доменних, мартенівських печей, розливальних машин чавуну, стоків ТЕЦ, обводненої окалини прокатних цехів, цеху виливниць, відпрацьованих емульсій тощо;
- коксохімічного заводу – шламів вуглемийки, частина хімічно забруднених СВ;
- алюмінієвого заводу – шламів мокрих газоочисток ТЕЦ, що працювала на твердому паливі, і шламів глиноземного виробництва;
- заводу «Дніпроспецсталь» – обводненої прокатної окалини, нейтралізованих і не нейтралізованих кислих СВ, шламів мокрих газоочисток;
- метизного заводу – нейтралізованих і не нейтралізованих кислих СВ;
- заводу «Кремнійполімер» – шламів хімічного виробництва.

ТЕМА 11 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТИЧНИХ ВОД ВІД СУСПЕНЗІЙ І РОЗЧИНЕНИХ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

1 Основне обладнання для очищення СВ металургійних і машинобудівних заводів, забруднених суспензіями й солями ТРМ, апаратурно-технологічні схеми, розроблені в ДП «УкрНТЦ «Енергосталь»

2 Зниження вмісту цинку в оборотній воді систем газоочисток доменного виробництва

11.1 Основне обладнання для очищення СВ металургійних і машинобудівних заводів, забруднених суспензіями й солями ВРМ, розроблене в ДП УкрНТЦ «Енергосталь»

Одним із головних елементів систем оборотного водопостачання є установки й споруди для очищення стічних вод. Вони забезпечують ефективне видалення завислих часток і розчинених сполук, що надходять пізніше на перероблення й утилізацію, повернення очищеної води в основне виробництво, а також створюють необхідні умови для проходження й завершення різних хімічних реакцій у рідкій фазі.

Це сприяє підвищенню стабільності води, що особливо важливо для створення оборотного водопостачання без скидання стічних вод у водойми, хвостосховища й шламонакопичувачі.

Еколого-гігієнічні вимоги закладаються в основу підходу до розроблення нових методів, апаратів і споруд для очищення СВ металургійних підприємств, що зі свого боку дає змогу підвищити ступінь очищення СВ від токсичних розчинених мінеральних й органічних сполук, повернути в основне виробництво очищену технічну воду, знизити ступінь забруднення всіх сфер навколишнього природного середовища токсичними сполуками, перероблення й утилізація яких з осадів, що утворюються (шламів), дає змогу забезпечити державу дорогою й дефіцитною імпортозамінною продукцією.

Особливо важливим можна вважати також рішення еколого-гігієнічних проблем з напруженою екологічною обстановкою.

Уже самому початку ХХІ ст. виникла необхідність переходу до принципово нових технологічних систем, що дають максимальний ресурсозберігальний і природоохоронний ефект.

Найпростіший засіб видалення зі стічних вод грубодисперсних нерозчинених домішок – відстоювання, в процесі якого завислі речовини осідають на дно, плаваючі домішки спливають на поверхню відстійників.

Для очищення стічних вод промислових підприємств використовують як звичайні конструкції відстійних споруд, що застосовуються при очищенні міських стічних вод (піскоуловлювачі, відстійники), так і спеціальні. Залежно від вимог до якості проясненої виробничої стічної води застосовують горизонтальні й радіальні відстійники різних конструкцій, які можуть бути обладнані камерами флокуляції.

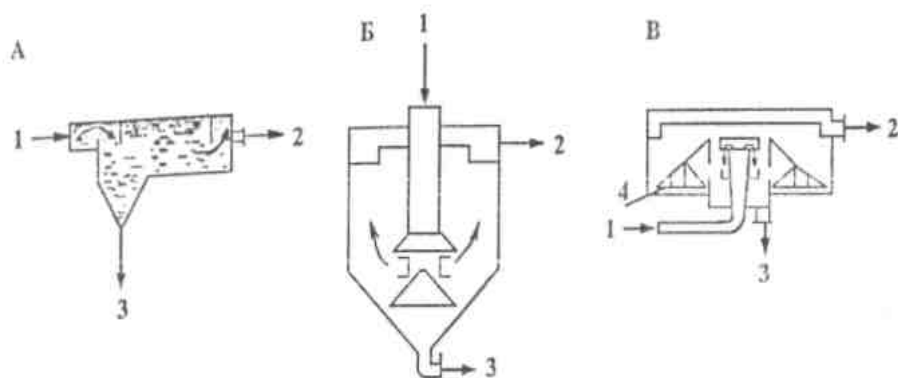


Рисунок 11.1 – Відстійники:

*А – горизонтальний; Б – вертикальний; В – радіальний;
1 – забруднена вода; 2 – очищена вода; 3 – осад (шлам); 4 – скребковий механізм*

Горизонтальні відстійники є найпоширенішими спорудами для очищення як природних, так і стічних вод, незважаючи на наявність істотних недоліків. При цьому є істотні розходження під час застосування таких відстійників для очищення питної води і для очищення стічних вод ПП. Ці розходження насамперед стосуються питань, пов'язаних із видаленням осаду (шламу). Під час очищення промислових стічних вод, завислі речовини яких відрізняються високою щільністю, осад (шлам) видаляють за допомогою спеціальних механізмів, наприклад, за допомогою грейферного крана. При цьому осад видаляється з відстійників періодично.

Горизонтальні відстійники становлять прямокутні проточні ємності, в яких відбувається осадження забруднень під дією сил ваги. Рух води здійснюється у відстійнику вздовж довгої сторони від однієї торцевої стінки до другої. Підведення та відведення води здійснюється по лотках. Після підвідного лотка передбачено водорозподільний щит, перед відвідним лотком, у разі необхідності передбачається маслоутримувальний щит. За висотою у відстійнику виділяють дві частини: верхню, яку називають робочою частиною, де відбувається осідання завислих речовин (зона осідання) та нижню, де накопичується й ущільнюється осад, що випадає.

Тривалість відстоювання залежить від дисперсності частинок, їх форми, тобто величини гідравлічної крупності (швидкість осадження частинок у нерухливій воді, мм/с).

У процесі роботі горизонтальних відстійників найкрупніші частинки випадають на початку відстійника в бункер для осаду (шламу). Найдрібніші частинки випадають далі по довжині відстійника за процесом руху води.

При виборі типу відстійників необхідно мати на увазі їх деякі експлуатаційні особливості. При значних витратах води горизонтальні відстійники доводиться влаштовувати багатосекційними, бо зазвичай ширина однієї секції приймається 5–6 м (продуктивність – десь 100–120 м³/год).

Загальним недоліком секційних відстійників є важкість правильного розподілення води за секціями, унаслідок чого окремі секції виявляються перевантаженими, унаслідок чого у них погіршується очищення. Крім цього, ефект очищення залежить від своєчасного видалення осадів із відстійників.

У конструкції *радіального* відстійника реалізовано принцип дії вертикального й горизонтального відстійників. Радіальний відстійник – зазвичай круглий у плані резервуар, вода в якому в процесі очищення рухається за радіусом від центра до периферії. Із віддаленням води від центру швидкість зменшується. Це сприяє випадінню завислих речовин на дно відстійника та спливанню речовин, щільність яких менше за 1. Стічна вода через центральний розподільчий пристрій надходить у відстійник, а освітлена вода збирається в круговий периферійний жолоб.

Осад, що випадає на дно відстійника, згрібається за допомогою скребкової ферми у центральний приямок, звідки видаляється за допомогою шламових насосів. Ефективність прояснення в радіальних відстійниках досягає 60 %. Глибина коливається від 1,5 м до 5 м.

Глибина проточної частини становить 1,5–5 м, діаметр – от 15 до 60 м. Тривалість перебування стічної води у відстійнику – 1,5–2 год.

Радіальні відстійники звичайних конструкцій діаметром 26–30 м упродовж багатьох років використовують для очищення стічних вод газоочисток доменних печей і інших металургійних агрегатів при питомому гідравлічному навантаженні $0,4\text{--}2\text{ м}^3/\text{м}^2\text{хгод}$.

Розрахунок відстійників полягає у визначенні його довжини, ширини і глибини при заданій витраті й мінімальній крупності частинок, що необхідно осадити. Іноді замість мінімальної крупності частинок задається необхідний час відстоювання.

Площу відстійника приблизно можна визначати за витратою води, що очищається, якщо відоме гідравлічне навантаження на відстійник, $\text{м}^3/\text{год}$ на 1 м^2 , що одержують на підставі досвіду експлуатації відстійників для аналогічних забруднених вод.

Виловлений шлам із горизонтальних відстійників видаляється періодично або безперервно. Для періодичного видалення шламу застосовують ковші грейферів, якими обладнуються відстійники або пересувні крани. Безперервне видалення шламу здійснюють насосами або ерліфтами.

Горизонтальні відстійники найчастіше застосовують для очищення стічних вод підприємств чорної металургії, зокрема для первинного і вторинного очищення стічних вод станів гарячої прокатки металу. Задовільний ступінь очищення стічних вод у вторинних горизонтальних відстійниках може бути досягнутий при питомих навантаженнях, менших за $0,8\text{--}1,1\text{ м}^3/\text{м}^2\text{хгод}$, а в умовах роботи замкнених систем оборотного водопостачання $0,4\text{--}0,8\text{ м}^3/\text{м}^2\text{хгод}$, що потребує значних виробничих площ для розміщення очисних споруд.

Для розрахунку горизонтальних відстійників необхідні такі дані:

- кількість стічних вод, $\text{м}^3/\text{год}$, за максимальним припливом;

- концентрація завислих речовин, важких механічних домішок, легких механічних домішок (масел і нафтопродуктів), мг/л;
- припустимий вміст завислих речовин у проясненій воді, мг/л;
- гідравлічна крупність часток U_0 , які необхідно видалити для забезпечення необхідного ступеня очищення E , %.

Розрахункову величину гідравлічної крупності визначають за кривими кінетики осадження завислих речовин $E = f(t)$, що отримані експериментально, відстоюванням стічної води в статичних умовах у шарі заввишки h , зазвичай такому, що відрізняється від дійсної висоти відстоювання в обраному типі відстійника. Для приведення отриманих результатів до натурної величини (висоти шару проточної частини відстійника) необхідно робити перерахунки U_0 за формулою

$$U_0 = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot K_{set}}{t_{set} \cdot \left(\frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (11.1)$$

де H_{set} – глибина проточної частини відстійника, м;

K_{set} – коефіцієнт використання об'єму проточної частини відстійника;

t_{set} – тривалість відстоювання, що відповідає заданому ефекту очищення, отримана в лабораторних умовах у циліндрі в шарі h ;

n_2 – показник степені, що залежить від агрегації зависі в процесі осадження.

За цією формулою можна також визначити гідравлічну крупність спливаючих домішок забруднювальних речовин, що легше води.

Величина K_{set} для горизонтальних відстійників дорівнює 0,5, для радіальних – 0,45.

Розрахунок радіальних відстійників здійснюють за питомим гідравлічним навантаженням, м³/год на 1 м² площі відстійника, що визначається на підставі лабораторних досліджень, або експлуатаційних даних. За одержаною внаслідок цього розрахунку загальною необхідною площею відстійників визначають кількість відстійників стандартного діаметра.

Для визначення величини гідравлічної крупності забруднень при визначенні розмірів відстійників дуже часто застосовують технологічне модулювання процесу очищення стічних вод від механічних домішок. Унаслідок проведення експериментів із технологічного моделювання процесу відстоювання будують криву кінетики процесу відстоювання стічних вод.

У процесі дослідження кінетики осадження дуже важливо вивчити флокуляційні властивості зависі, тобто схильність до укрупнення при повільному перемішуванні води без додавання коагулянтів. Помітними природними флокуляційними властивостями володіють не всі різновиди завислих речовин. Флокулюємість залежить від хімічного складу завислих речовин, вихідної концентрації твердої фази в стічних водах тощо.

Флокуляційні властивості завислих речовин краще всього проявляються в повільно висхідному потоці води.

При переведенні систем оборотного водопостачання на замкнений (безстічний) або близький до нього режим роботи стало очевидно, що горизонтальні й радіальні відстійники традиційних конструкцій не дадуть бажаного результату через низку наявних недоліків:

- низька продуктивність (питомі гідравлічні навантаження знаходяться в межах $1-2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$),
- непристосованість для роботи з коагуляцією і флокуляцією,
- недосконалість конструкції (коефіцієнт використання обсягу дорівнює 0,5, що свідчить про їхню гідравлічну недосконалість, періодичне відведення осаду тощо).

У горизонтальних відстійниках неможливо організувати безперервне видалення осаду, що випадає. Це призводить до порушення їх роботи і спричиняє труднощі при подальшому збезводненні, утилізації або складуванні шламів, а також низька ефективність маслоуловлювальних пристроїв. Крім цього, їм притаманні недосконалість пристроїв впуску, розподілу та збирання води.

ДП УкрНТЦ «Енергосталь» проектує системи очищення СВ від розчинених сполук ВРМ, завислих речовин, масел і нафтопродуктів, виготовляє та поставляє необхідне обладнання для будівництва таких систем.

Нижче наведено короткий огляд основного технологічного обладнання, застосовуваного для очищення СВ, розглядаються конструкції сучасних апаратів і споруд для очищення стічних вод, розроблених ДП УкрНТЦ «Енергосталь», в яких найкращим чином реалізовано флокуляційні властивості завислих речовин. Врахування флокуляційних властивостей завислих речовин дає змогу значно збільшити продуктивність споруд та апаратів, що призначені для прояснення води.

Радіальний відстійник з камерою флокуляції

Радіальні відстійники з камерою флокуляції розроблені для очищення води в оборотних циклах водопостачання машинобудівних і металургійних заводів: гальванічних цехів, газоочисток аглофабрик, доменних печей, конвертерів і станів гарячої прокатки.

Відмінною рисою відстійника є наявність убудованої камери флокуляції. Це дає змогу підвищити питоме гідравлічне навантаження на відстійник у 1,5-2 рази порівняно з відстійниками інших відомих типів [6, 7, 8].

Відстійники впроваджені на металургійних підприємствах України («Арселор Міттал Кривий Ріг», Макіївський металургійний комбінат тощо), металургійних комбінатах РФ («Північсталь», "НЛМК", і багатьох інших підприємствах, зокрема машинобудівних), на деяких закордонних металургійних заводів (Пакистан, Нігерія тощо).

Радіальні відстійники також широко використовуються для очищення СВ в інших галузях промисловості.

Технічні характеристики

Вміст завислих речовин у проясненій воді:

- при очищенні СВ газоочисток доменних печей – до 150 мг/дм^3 ;
- при очищенні СВ газоочисток конвертерів – до $100\text{-}300 \text{ мг/дм}^3$ (залежно від навантаження й способу обробки води);
- при очищенні СВ прокатних станів і гальваностоків: завислих речовин – $50\text{-}100 \text{ мг/дм}^3$;
- масел – $20\text{-}30 \text{ мг/дм}^3$;
- навантаження до $4 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$;
- потужність електропривода – $7,5 \text{ кВт}$.

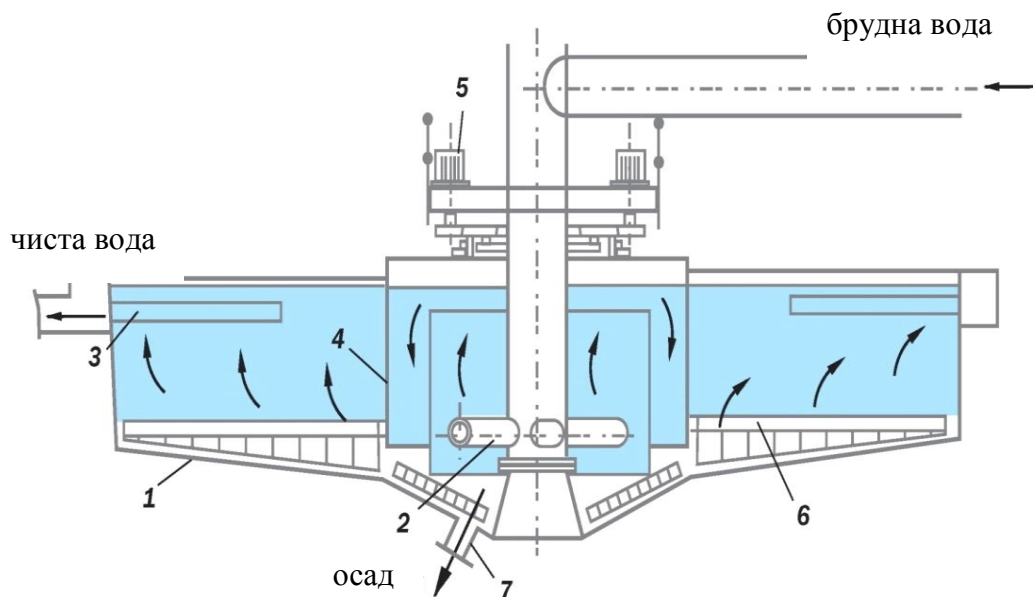


Рисунок 11.2 – Радіальний відстійник із камерою флокуляції:

1 – корпус; 2 – підведення забрудненої води; 3 – водозбірна система; 4 – камера флокуляції; 5 – електропривід; 6 – шкребковий устрій; 7 – патрубок відведення осаду

Флокулятори для очищення СВ

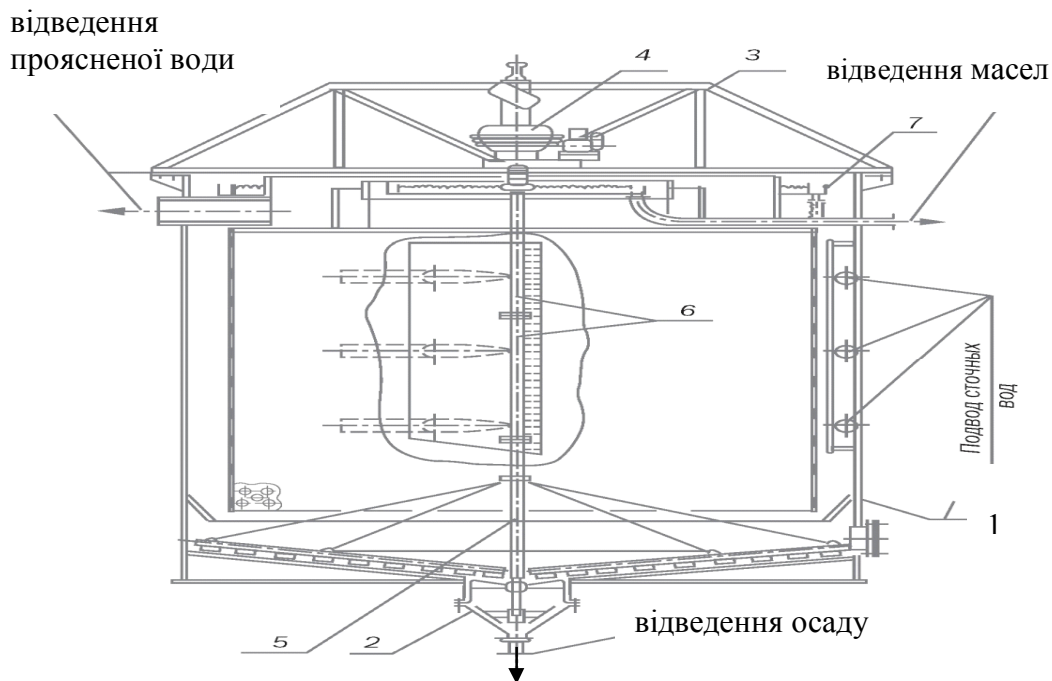


Рисунок 11.3 – Флокулятор:

*1 – корпус флокулятора; 2 – приймач згущеного осаду; 3 – міст;
4 – електропривід; 5 – вивантажувальний пристрій;
6 – вал проміжний; 7 – маслосбірний пристрій*

Відкриті гідроциклони

Відкриті (безнапірні) гідроциклони призначені для очищення стічних вод в оборотних циклах різної продуктивності. Відкриті гідроциклони найефективніші в тому разі, коли завислі речовини мають схильність до флокуляції – природної або створеної шляхом додавання у воду хімічних реагентів – коагулянтів і флокулянтів.

Через інтенсивну градієнтну флокуляцію, що спостерігається у відкритих гідроциклонах, питоме гідравлічне навантаження на них у 3-3,5 рази перевищує навантаження на радіальні відстійники.

Для більш надійного видалення осаду відкриті гідроциклони обладнані шкребковими вивантажувальними пристроями. Відкриті гідроциклони встановлені в оборотних циклах водопостачання на машинобудівних заводах («Конвектор») і металургійних комбінатах «Запоріжсталь», «Дніпрспецсталь» тощо.

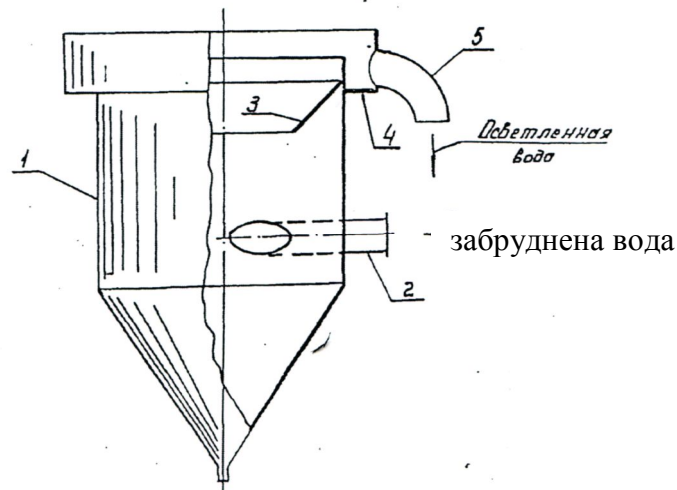


Рисунок 11.4 – Відкритий гідроциклон

1 – корпус; 2 – тангенціальні підводи води; 3 – діафрагма; 4 – водозбірний лоток; 5 – зливна труба

У разі підвищених вимог технології до якості води та наявності в стічних водах великої кількості дрібнодисперсних частинок відстоювання може виявитися недостатнім для очищення оборотної води, особливо, якщо його здійснюють без застосування коагулянтів. У таких випадках виникає необхідність у додатковій стадії очищення всієї або частини оборотної води.

Фільтрування води полягає у пропусканні її через шар зернистого чи пористого матеріалу, що володіє здатністю затримувати на своїй поверхні під дією сил приставання або у свої товщі частки забруднень, що містяться у воді.

Існує велике різноманіття фільтрів, що розрізняються: різновидом фільтрувального матеріалу, швидкістю фільтрування, механізмом затримання завислих речовин і конструктивним оформленням.

Напірні фільтри з двошаровим антрацито-кварцовим завантаженням

Напірні фільтри призначені для очищення промислових стічних вод від завислих речовин і масел (рис. 11.5).

Сфера застосування:

- очищення промислових стічних вод від забруднювальних речовин основних металургійних переділів підприємств чорної металургії з метою повернення очищеної технічної води в умовно-чисті оборотні цикли або використання для потреб споживачів, що вимагають для свого функціонування воду підвищеної якості;

- очищення промислових стічних вод на підприємствах машинобудування, промислової енергетики, нафтохімічній та інших галузях, де формуються промислові стічні води, що містять механічні домішки й масла.



Рисунок 11.5 – Напірні антрацито-кварцові фільтри (діаметр 2-4 м)

Технічні характеристики фільтра

Швидкість фільтрування 30–50 м/год, при цьому фільтри забезпечують зниження концентрації завислих речовин у воді зі 100–150 мг/л до 10–20 мг/л, масел зі 100 мг/л до 20–40 мг/л, тривалість фільтроциклу – 24 год, промивка водоповітряною сумішшю – 30 хв.

Продуктивність, м³/год: фільтр діаметром 3,4 м – до 360; діаметром 3,0 м – до 280; фільтр діаметром 2,0 м – до 120.

Робочий тиск, МПа – до 0,6.

Фільтрувальне завантаження – кварцовий пісок і антрацит.

Концентрація забруднень, мг/дм³ у вихідній стічній воді:

- завислих речовин до 150 мг/дм³
- масел до 100 мг/дм³

Концентрація забруднень, мг/дм³, в фільтраті:

- завислих речовин до 20–30 мг/дм³;
- масел – до 25 мг/дм³.

Ефективність очищення: від завислих речовин – 90 %; від масел – 75 %

Габаритні розміри, м: – діаметр – 2-4; висота – до 6.

Відмінні особливості цих фільтрів, порівняно з відомими:

1. Велика товщина шарів завантаження (антрацит – 1,1 м, кварцовий пісок – 1,1 м) і велика крупність зерен (кварцовий пісок – 1,5-2,4 мм, антрацит – 3-6 мм). Це дає можливість збільшити швидкість фільтрування до 30–50 м/год. При цьому якість одержаної води дозволяє використовувати її у технічних цілях.

2. Висока брудоемність.

3. Збільшення тривалості фільтроциклу в 2-3 рази.

У конструкції фільтра використано оригінальні технічні рішення, зокрема вдосконалений ковпачковий дренаж із неіржавної сталі.

Склад фільтрувального завантаження, продуктивність, режим регенерації залежать від складу стічних вод.

Фільтрувальна станція з використанням фільтрів конструкції ДП УкрНТЦ «Енергосталь» займає порівняно невелику площу, відрізняється надійністю і

зручністю в експлуатації, може працювати в автоматичному режимі свіжої технічної води.

Можливе застосування таких фільтрів у господарсько-питному водопостачанні.

Напірні антрацито-кварцові фільтри, розроблені ДП УкрНТЦ «Енергосталь», встановлені в оборотних циклах прокатних станів і МНЛЗ на металургійних комбінатах України (ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча», м. Маріуполь, ВАТ «Запоріжсталь», м. Запоріжжя), Росії (ВАТ «Северсталь», м. Череповець, «Уральська сталь», м. Новотроїцьк, «Новоліпецький металургійний комбінат», м. Ліпецк) і на деяких закордонних об'єктах у Нігерії, Алжирі, Туреччині.

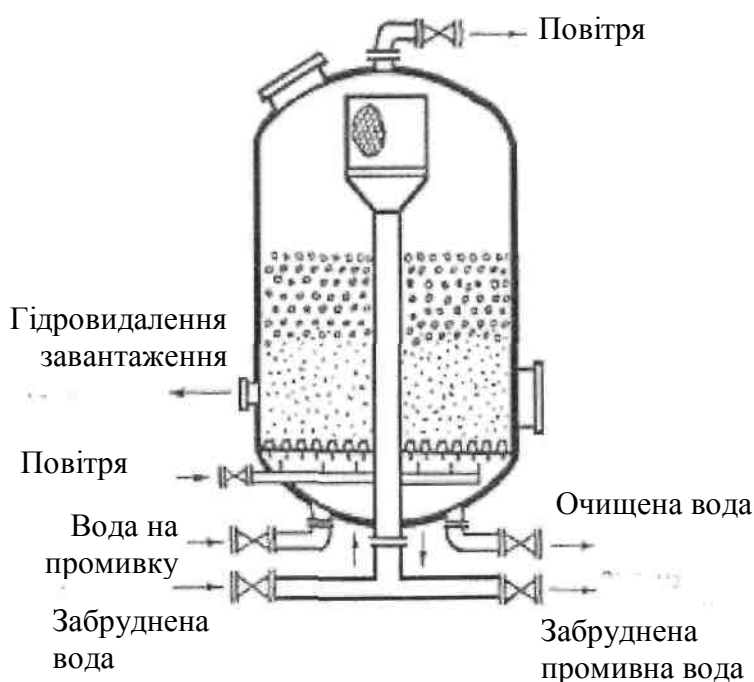


Рисунок 11.6 – Напірний антрацито-кварцевий фільтр

Одночасно з розвитком і удосконалюванням методів відстоювання і фільтрування низкою науково-дослідних організацій як у нашій країні, так і за кордоном розробляються інші фізичні й фізико-хімічні методи очищення і доочищення стічних вод, що містять тверді домішки, олії та нафтопродукти. До них належать: магнітна обробка, використання ультразвуку, електромеханічні методи (електрокоагуляція, електрофлотація), а також флотаційні. З перерахованих вище методів у чорній металургії найбільш поширене використання набув метод напірної флотації.

Електрофлотаторна установка

Електрофлотатори призначені для очищення знежирювальних та мийних розчинів від механічних домішок і масел із метою їхнього повторного використання й скорочення скидання забруднених розчинів у навколишнє природне середовище. Основним вузлом електрофлотаційної установки є електрофлотатор (рис. 11.7).

Сутність процесу електрофлотаційного очищення розчинів від суспензій полягає в утворенні при електролізі на катоді пухирців водню, які, спливаючи, захоплюють на поверхню забруднювальні речовини, що втримуються в рідкій фазі.

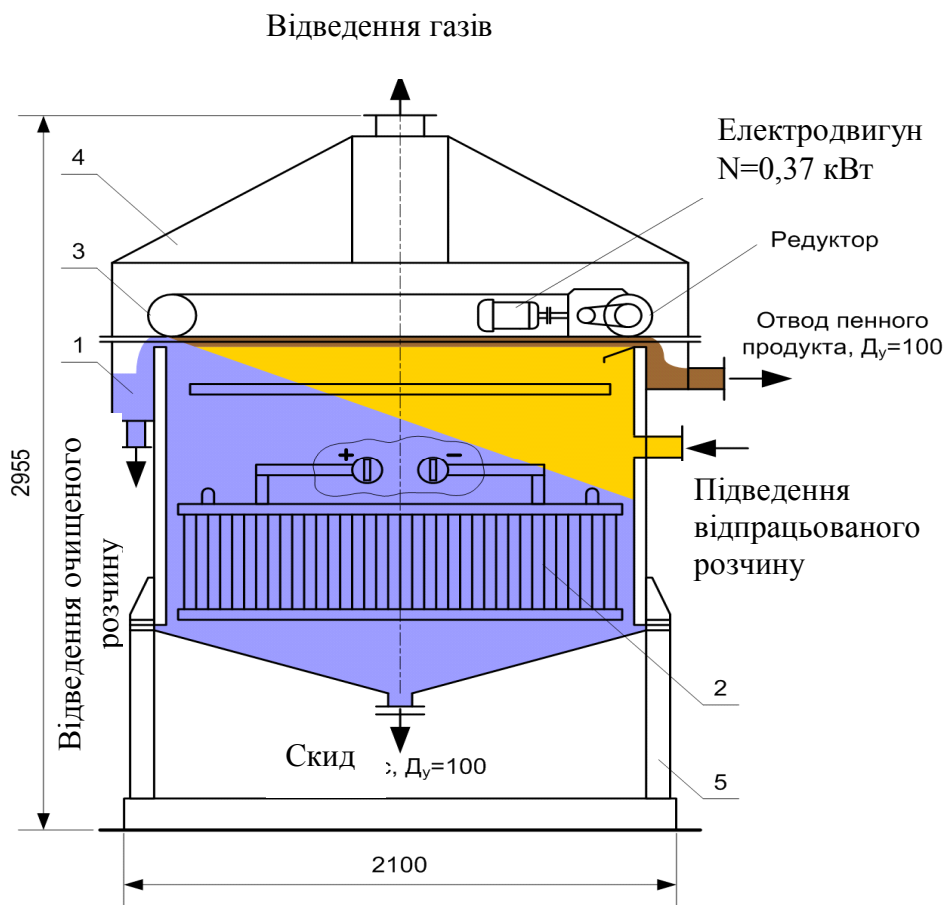


Рисунок 11.7 – Електрофлотаційна установка

1 – ванна; 2 – блок електродів; 3 – пінознімач; 4 – зонт витяжний; 5 – рама

для ведення коагуляції і флокуляції, спливання і видалення масел. Цей метод дає змогу надійно очищати значні кількості стічних вод, що досягають 10–30 тис. м³/год. Для доочищення води доцільне використання фільтрів різних конструкцій.

На сьогодні в галузі чорної металургії практично вирішені питання очищення стічних вод усіх металургійних переділів від механічних домішок і певною мірою від плаваючих масел на основі використання таких споруд, як радіальні відстійники діаметром 30 м із камерою флокуляції, відкриті гідроциклони, флокулятори, напірні фільтри з антрацито-кварцовим, пінополістирольним завантаженням тощо.

На рисунку 11.9 наведено розроблену в ДП УкрНТЦ «Енергосталь» ефективну апаратурно-технологічну схему діючої установки безстічного триступеневого очищення від суспензій і масел СВ машини безперервного лиття заготівель (далі МБЛЗ) і сталепрокатних станів.

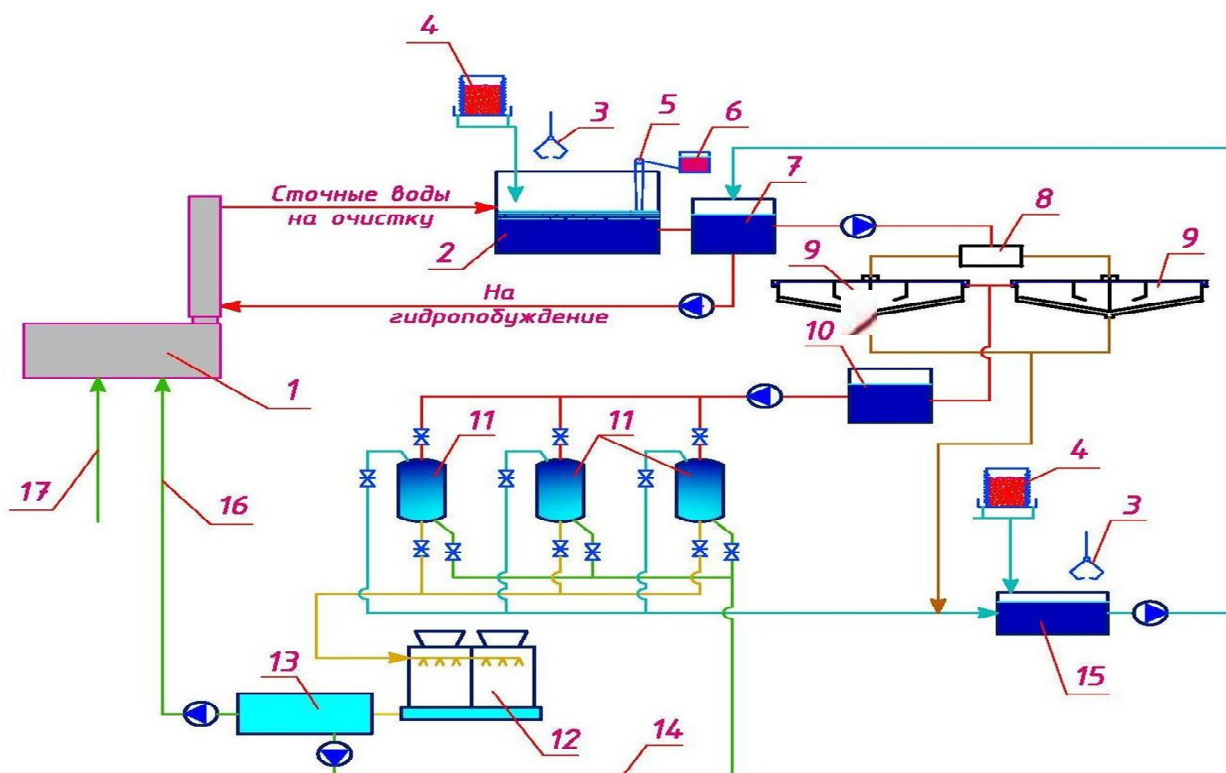


Рисунок 11.9 – Апаратурно-технологічна схема безстічної триступеневої системи очищення стічних вод МБЛЗ і прокатних станів від суспензій і масел

1 – виробничий корпус; 2 – яма первинного осадження прокатної окалини;

3 – грейферний кран; 4 – збірний бункер окалини; 5 – маслозбірник;

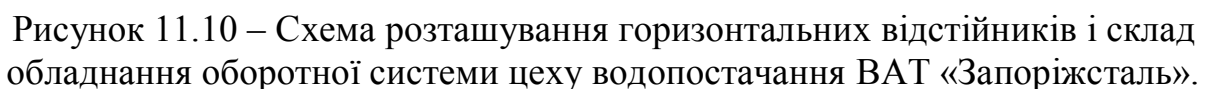
6 – накопичувач масел; 7 – збірник проясненої води; 8 – розподільна камера відстійників; 9 – радіальний відстійник; 10 – резервуар проясненої води;

11 – напірний антрацито-кварцовий фільтр; 12 – градирня; 13 – збірник очищеної води; 14 – повернення води на промивання фільтрів; 15 – відстійник промивної води; 16 – повернення очищеної води у виробництво;

17 – підживлення системи свіжою водою.

На рисунку 11.10 зображено принципову схему розташування горизонтальних відстійників і склад обладнання оборотної системи цеху водопостачання комбінату «Запоріжсталь».

У ДП УкрНТЦ «Енергосталь» розроблена нова маловідходна економічно ефективна технологія утилізації вологої замасленої прокатної окалини. Як сировина використані проби вологої замасленої окалини комбінату «Запоріжсталь».



Останніми роками фахівцями комбінату «Запоріжсталь» поетапно виконано модернізацію газоочистного обладнання агломераційного цеху й гідротехнічних споруд оборотного циклу водопостачання мокрих газоочисток доменних печей, що дало змогу значно скоротити скидання СВ у водозбірне спорудження балки Капустянка, за допомогою чого тільки незначні обсяги стічних вод ($150 \text{ м}^3/\text{год}$ від агломераційного цеху й $400 \text{ м}^3/\text{год}$ від оборотного циклу водопостачання газоочисток доменних печей із концентрацією завислих речовин до 200 мг/дм^3 і високим ступенем мінералізації до 2500 мг/дм^3) із метою підтримання рівноважного водно-хімічного балансу оборотної системи, як і раніше, подаються у водозбірне спорудження. В окремих випадках, при збоях у технологічному процесі транспортування стічних вод від газоочисток до оборотного циклу водопостачання можуть відбуватися аварійні скидання стічних вод в обсязі до $600 \text{ м}^3/\text{год}$ із концентрацією забруднень до 5 г/дм^3 .

Отже, можна дійти таких висновків:

1. Найінтенсивніше процеси забруднення поверхневих і ґрунтових вод відбуваються внаслідок скидання неочищених й умовно очищених стічних вод підприємств гірничо-металургійного комплексу, надходження фільтрату з обсягу ШН або хвостосховища, розміщених на території підприємств або поблизу джерел питного й господарського водопостачання й утворюючих техногенні джерела забруднення постійної дії.

2. Для запобігання забруднення басейну р. Дніпро стічними водами технологічних об'єктів і фільтрату ШН у балці Капустянка доцільним є проведення комплексу науково-дослідних і проектно-дослідницьких робіт з вивчення властивостей накопичених відкладень окалини в районах її довгострокових скидань у ШН для створення виробничого комплексу по утилізації окалини, що вилучається з одержанням за технологією ДП УкрНТЦ «Енергосталь» збагачених залізом брикетів або окатишів, придатних для використання в аглодоменному виробництві [4-7].

11.2 Зниження вмісту цинку в оборотній воді газо очисток доменного виробництва ММК ім. Ілліча

Проблема зниження вмісту сполук Zn в оборотній воді систем газоочисток доменного виробництва Маріупольського металургійного комбінату ім. Ілліча (ММК ім. Ілліча) виникла, оскільки підвищений їхній вміст спричиняє серйозні порушення роботи газовідвідних трактів і всієї системи газоочищення. Сполуки Zn, що виходять із пилегазовою сумішшю з доменних печей, частково осідають у газоходах, спричиняючи утворення «настилів» і заростання газоходів. Наявність їх у газах, що відходять, пов'язана з порівняно високим вмістом Zn у вихідній сировині основного металургійного виробництва.

Для підтримки працездатності газоочисток потрібне проведення регулярних робіт з очищення газоходів. Це потребує періодичної зупинки газоочистного обладнання на окремих ділянках для проведення регламентних робіт і великих трудовитрат. Отже витяг сполук Zn з оборотної води систем газоочисток розглядається як метод усунення зазначених недоліків та як

перспективний спосіб одержання кошовної вторинної Zn-утримуючої сировини.

Нині фахівці України приділяють досить серйозну увагу проблемам техногенних родовищ важких металів, створенню технологій переробки шламів чорної металургії, що містять – Zn і Fe.

Шлами й пил газоочисток і гідрозбирання в агломераційному, доменному, сталеплавильному й прокатному виробництвах чорної металургії можуть слугувати кошовною вторинною сировиною для основного виробництва й інших галузей промисловості.

Досить актуальна проблема утилізації сполук, що містять Zn, Pb, Fe зі шламів і пилів – крупнотоннажних відходів газоочисток металургійних заводів ММК ім. Ілліча, «АЛМК» Україна; НЛМК, «Северсталь», «Урал Сталь» Росія тощо. Особливу увагу потрібно звернути на можливість економічно вигідного постачання вітчизняної промисловості стратегічно важливими дорогими й дефіцитними сполуками Zn і Pb із техногенних родовищ цих елементів, якими є шламонакопичувачі заводів чорної металургії.

У доменному й сталеплавильному виробництвах як сировину використовують залізорудні окатиші й несортований металолом. Через це в систему газоочищення основних металургійних агрегатів разом зі сполуками Fe надходять сполуки Zn, Pb та інші кошовні компоненти. Оскільки пил і шлами сухих і мокрих газоочисток, що містять 1,5–18 % Zn, до 2 % Pb та 45–57 % Fe, не можуть бути повернуті в основне виробництво через високий вміст сполук Zn і Pb, які руйнують футеровку агрегатів і забивають газоходи відкладеннями, їх направляють у ШН.

Головним джерелом утворення металутримувальних пилів і шламів у доменному виробництві є доменна піч, основна маса пилу з якої виноситься з колошниковими газами. Іншими джерелами утворення є між конусний простір, ділянки випуску чавуну й шлаків на ливарному дворі. Очищення доменного газу здійснюється в трьох послідовно встановлених газоочистних апаратах.

Попереднє очищення здійснюється в сухих радіальних пиловловлювачах, напівтонка – у мокрих форсуночних скруберах, а тонке очищення – у трубах Вентурі й дросельній групі. У процесі роботі доменної печі на підвищеному тиску остаточне очищення здійснюється в дросельній групі.

Контроль концентрації Zn у доменних шламах і його нагромадження в доменній печі дозволяє організувати періодичне (за один цикл) виведення із замкненої системи шламів із підвищеним вмістом Zn. Тривалість циклу залежить від способів зневоднювання й підготовки шламів до утилізації, від місткості складів при усередненні залізорудних матеріалів.

Кількість лежалих шламів у кожному зі шламонакопичувачів великих металургійних заводів України становить 2–5 млн т при щорічному додатковому надходженні в кожний із них 150–350 тис. т. Тут зосереджені більші запаси дефіцитних і дорогих компонентів.

Утилізація кошовних компонентів із пилів і шламів металургійного виробництва – актуальне завдання для всіх індустріально розвинених країн миру. Комплексна утилізація сполук Zn, Fe зі ШН металургійних заводів у цих

країнах не здійснюється через відсутність промислово випробуваних технологій їхньої переробки.

Витяг у напівпромислових і промислових масштабах Zn, Pb і Fe з пилів і шламів чорної металургії проводиться переважно в Німеччині, Японії та США. Основними способами є модифікації вельц-процесу – високотемпературного вуглетермічного відновлення Me-утримуючої сировини в обертових печах. Такі технології дають змогу одержувати концентрат зі вмістом Zn до 62 %, відрізняються складністю, енергоємністю, високою собівартістю продукту.

Відомий спосіб переробки пилів і шламів систем очищення газів доменних печей, що полягає в мокрій магнітній сепарації матеріалу з подальшим вилуговуванням Zn і Pb із магнітної фракції. Однак через високу дисперсність поділюваного матеріалу виникають проблеми з відстоюванням отриманих суспензій.

Існують пиро- і гідрометалургійні схеми витягу Zn з відходів металургійного виробництва. Однак застосування гідрометалургійного способу, що включає випал сировини, вилуговування, фільтрацію та оборотний цикл, економічно виправдано тільки для підприємств, що вже мають гідрометалургійні виробництва.

У більшості країн СНД такі технології розробляються на рівні дослідницьких робіт і напівпромислових випробувань.

Оборотна вода газоочисток, що циркулює в системі, здатна накопичувати порівняно високі концентрації сполуки Zn через явище деякої розчинності навіть найважче розчинних його сполук. Це пов'язано як із тією обставиною, що оксид й інші сполуки цинку, що втримуються в газах, що відходять, частково розчинні у воді, так і з наявністю в оборотній системі ряду розчинених газів кислотного характеру – насамперед вуглекислого газу CO_2 і сірчистого ангідриду SO_2 , що сприяють підвищенню розчинності сполук цинку шляхом утворення змішаних комплексів.

Як можливі шляхи виділення сполук Zn з оборотної води висвітлені такі варіанти: осадження нерозчинних сполук цинку, упарювання води й концентрація цинкових сполук в оброблюваному розчині, іонний обмін, флотація малорозчинних сполук (замість осадження), екстракція комплексних сполук розчинниками.

Упарювання води або електрохімічне виділення Zn при настільки низьких концентраціях, які є в оборотній воді, занадто енергоємно, для іонного обміну потрібні установка складного й дорогого обладнання та створення системи елюації Zn, а для флотації й екстракції будуть потрібні рідкі й дорогі реагенти.

Для обслуговування обладнання вище вказаних технологій потрібен численний персонал високої кваліфікації.

Це робить зазначені шляхи нерентабельними, або технологічно малоперспективними для витягу цинку в наявній ситуації. Реальні тільки осаджувальні методи, які на сьогодні можуть бути досить дешеві, щоб використати їх для виділення Zn з оборотних вод газоочиснення доменного виробництва ММК ім. Ілліча. Устаткування для їхньої реалізації досить просто

в монтажі й обслуговуванні, надійно в експлуатації та може бути повністю автоматизовано.

Для зв'язування й виділення іонів Zn у вигляді осаду з розчину можна використати низку реагентів-осаджувачів, здатних до утворення малорозчинних сполук Zn. Їхній вибір визначається низькою розчинністю продуктів реакції та, бажано, відсутністю комплексоутворення з наявними акваіонами Zn або цинкатами-іонами.

Більша частина сполук Zn, що мають досить низьку розчинність, не може бути використана на практиці для виділення малорозчинних сполук Zn в умовах обробки оборотних вод систем газоочищення з екологічних (ціаніди, сульфід) або економічних (іодати, ферриціаніди) міркувань.

Найбільш прийнятні як реагенти-осаджувачі солі й інші сполуки, що сприяють формуванню малорозчинних сполук цинку, і мають невелику вартість. Як перспективні реагенти-осаджувачі розглянуто гідроксиди, карбонати; крім того, якщо перші будуть неефективні у виробничих умовах, можуть бути використані більше дефіцитні фосфати й оксалати.

Існує ще один перспективний реагент-осаджувач для двовалентних іонів – силікат-іон. Хоча точних даних про розчинність силікатів цинку не має, всі вони оцінюються в довідковій літературі як «нерозчинні». Як реагент-осаджувач у цьому разі можна використати широкий спектр доступних технічних продуктів – силікат натрію (натрій кремнекислий, силікат глиба), скло натрієве рідке.

Хоча фосфати й пірофосфати Zn розчинюються як дуже малорозчинні речовини, використання фосфатів, а також оксалатів менш бажано, оскільки через локальне утворення складних змішаних комплексів у нерівноважних умовах реального змішування, у присутності цих реагентів-осаджувачів, а також у присутності наявних у розчині гідроксо-, гідрокарбонат- або гідросульфід-, хлорид- та інших іонів в оборотній воді, можливе формування небажаних більш розчинних комплексів цинку.

Добуток розчинності чистого $\text{Zn}(\text{OH})_2$ становить приблизно 10^{-11} , але насправді гідроксид помітно більш розчинний.

Варто також зазначити, що через наявність у газах, що відходять від печей розчинних кислотних оксидів – вуглекислого газу й сірчистого ангідриду, можливих домішок оксидів азоту тощо, а також підвищеної температури води в системі, розчинність сполук цинку може істотно збільшитися.

За результатами аналітичного дослідження в оборотній воді втримується 0,14–13,0 мг/дм³ розчинних сполук Zn (у перерахуванні на метал). Розчин безпосередньо після очищення має рН = 6,5–7,0. При русі в оборотному циклі, а особливо при відстоюванні, рН середовища поступово змінюється, досягаючи значень 6,9–8,1. Це пов'язане із процесом видалення з розчину кислотних домішок – вуглекислого й сірчистого газів.

В осаді, що виділяється природним шляхом з оборотної води втримується значна кількість Zn – до 30,6 % (у перерахуванні на метал). Кількість осаду в оборотній воді мінлива й становить 0,1–2,0 г/дм³

Відстоювання цієї фракції Zn-утримувальних малорозчинних сполук відбувається на наявному встаткуванні в діючій системі газоочищення основного металургійного виробництва ММК ім. Ілліча.

Для виділення розчинних форм Zn з оборотної води систем газочисток були використані такі перспективні осаджувачі (найбільш дешеві, технологічно й екологічно прийнятні): карбонат натрію, гідроксид кальцію, силікат натрію («розчинне скло»).

Отже, з доступних осаджувачів тільки силікат натрію (або калію) Na_2SiO_3 або K_2SiO_3 , а також змішані технічні продукти – силікати лужних металів типу розчинів силікату-глиби марки АСКН-1 (калієво-натрієва), АСНК-1 (натрієво-калієва) здатні зруйнувати комплексні сполуки Zn і вивести їх в осад з оборотної води.

При додаванні розчину реагента-осаджувача (розчин силікату натрію може бути отриманий при розчиненні в гарячій воді технічного продукту - силікату-глиби) рН обробленої оборотної води поступово змінюється (див. рис. 9.11). При цьому випадає осад силікату цинку (водночас можуть співосаджуватися силікати кальцію й магнію, оскільки ці іони в невеликій кількості завжди є в технічній воді, що прямує в оборотний цикл системи газоочищення):

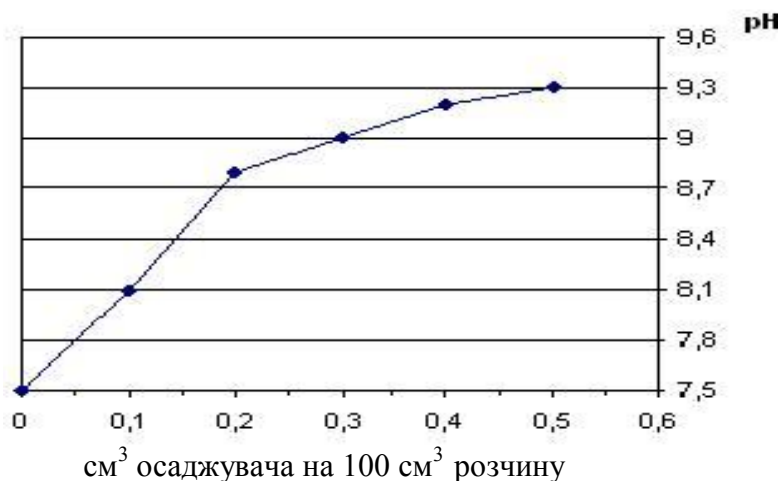


Рисунок 9.11 – Зміна рН оборотної води при введенні реагента-осаджувача

Це явище може бути використане для контролю кількості реагента-осаджувача, що додається в оборотну воду для осадження сполук цинку.

Важливим фактором, що впливає на ефективність застосування конкретного реагента-осаджувача, є швидкість формування осаду й легкість його відділення від рідини. На жаль, більшість силікатів не належить до речовин, що легко формують крупнокристалічні й добре відокремлювані осад. Але, в проведених експериментах було досягнуто задовільну швидкість осадження (рис. 11.12).

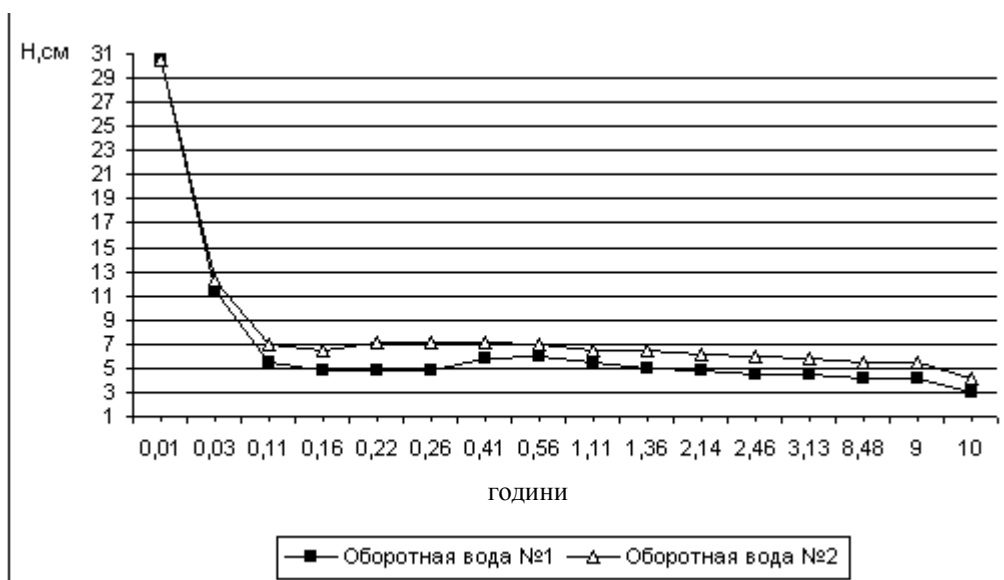


Рисунок 11.12 – Швидкість осадження силікатів з оборотної води системи газоочистки

Як видно з рисунку 11.12, швидкість осадження й ущільнення осаду через 10-15 хв різко падає. Після 1 доби відстоювання швидкість ущільнення осаду значно зменшується. Кінетика осадження осаду визначається фізико-хімічними процесами взаємодії компонентів. Для того, щоб одержати максимальну швидкість осадження продуктів реакції із силікатом натрію, необхідно, щоб перед змішуванням реагуючі речовини (реагент-осаджувач та оборотна вода) мали найбільші концентрації взаємодіючих компонентів. Оскільки концентрація Zn в оборотній воді невелика, практично постійна, і не піддається іншим методам регулювання, крім осадження цинку, використовують досить концентровані 10-20% розчини силікату натрію.

Для прискорення процесу прояснення оборотної води після введення реагента-осаджувача раціонально застосовувати крім наявних на підприємстві радіальних відстійників, також ефективніші апарати, особливо тонкошарові відстійники.

Після завершення утворення осаду оборотна вода має рН = 8–9 через невеликий надлишок силікату натрію, що легко гідролізується, формуючи лужне середовище.

Залишкові кількості силікатів рекомендується видалити за допомогою додаткової нейтралізації оборотної води до рН = 6,5–7,5. Це можна зробити за допомогою дозованого додавання невеликої кількості кислотних агентів, наприклад, сірчано-кислотних відходів травильного відділення, які на сьогодні на підприємствах піддаються нейтралізації вапном. При цьому шляхом співосаджування з нерозчинною кремнекислотою, що утворюється з розчину видаляються практично всі двовалентні катіони (цинк, кальцій тощо).

У таблиці 11.1 наведено дані про вміст Zn в оборотній воді до й після обробки.

Таблиця 11.1 – Результати аналізів оборотної води газоочищення на вміст Zn

Характеристика проби	Вихідна концентрація Zn у розчині, мг/дм ³	Концентрація Zn у розчині після обробки карбонатом кальцію, мг/дм ³	Концентрація Zn у розчині після обробки силікатом натрію, мг/дм ³
Проба оборотної води № 1	12,6	0,9	0,14
Проба оборотної води № 2	0,4	0,03	0,18

Відповідно до таблиці 11.1, Na_2SiO_3 майже так само ефективний, як $\text{Ca}(\text{OH})_2$, але швидкість реакції в цьому разі занадто мала, щоб ефективно використати його в реальних умовах. Отже, як реагент для осадження обраний дешевий, доступний й ефективний Na_2SiO_3 , інші реагенти прийняті як запасні. Невеликі кількості фосфат- або гідрофосфат- іонів можуть бути введені для нейтралізації лужності води після силікатної обробки.

Інший шлях нейтралізації – обробка оборотної води вуглекислим газом. Найбільш економічне повторне оброблення газами, що відходять, які направляють на доочищення:



При цьому буде зв'язана частина вуглекислого, а також сірчастого газу, що дасть змогу одержати додатковий екологічний ефект шляхом поліпшення очищення газів, що відходять, від викидів CO_2 і SO_2 .

Осад кремнекислоти й сполук цинку, що утвориться, відокремлюється у відстійниках і може бути використаний надалі як сировина для витягу цинку.

Схема вилучення сполук цинку з оборотної води систем газоочисток доменного виробництва ММК ім. Ілліча

Для вилучення сполук цинку з оборотної води систем газоочисток доменного виробництва ММК ім. Ілліча пропонується така схема (рис. 11.13).

Відповідно до пропонованої схеми в оборотну воду після пиловловлення дозатором дозується реагент-осаджувач. Після відстоювання в радіальному відстійнику вода додатково очищається в тонкошаровому відстійнику і подається на повторне використання.

У разі, якщо використання існуючих радіальних відстійників недостатньо ефективно, нами передбачена можливість використання додаткової, ефективнішої схеми відстоювання осаду, що утворився. У цьому варіанті буде потрібне установлення додаткового модуля тонкошарового відстоювання нерозчинних речовин з оборотної води у тонкошаровому відстійнику, куди вода буде подаватися насосом.

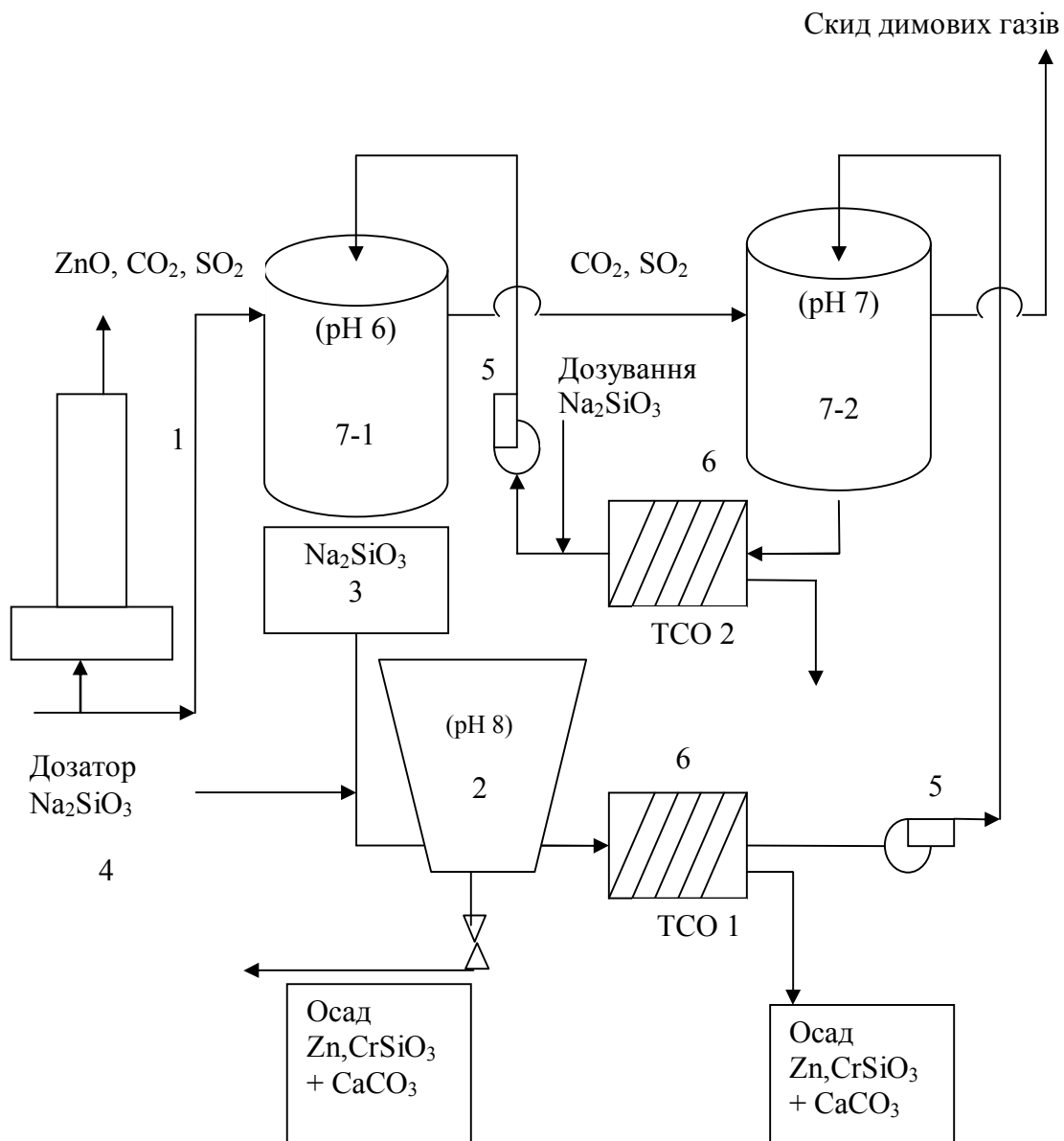


Рисунок 11.12 – Технологічна схема обробки оборотної води систем газоочищення для вилучення сполук цинку

1 – гази, що відходять від систем газоочисток; 2 – радіальний відстійник (існуючий); 3 – ємність для розчину силікату натрію;
4 – дозатор розчину силікату натрію; 5 – циркуляційні насоси;
6 – тонкошаровий відстійник; 7 – система мокрої газоочищення

Таке рішення проблеми витягу цинку дає змогу досягти технологічного й екологічного ефекту за допомогою витягу цинку – кошовного, але екологічно потенційно небезпечного компонента з оборотних вод металургійного виробництва.

Очищення оборотної води систем газоочисток доменного виробництва ММК ім. Ілліча від сполук цинку має на меті пошук шляхів зниження концентрації з'єднань цинку в оборотній воді, що повинне сприятливо позначитися на процесі газоочищення шляхом запобігання заростання газоходів сполуками цинку [8].

Наступний етапом після виділення сполук цинку з оборотної води – утилізація кошовної цинковміщувальної сировини.

У тонкошарових відстійниках прояснювана вода ділиться на ряд шарів невеликої товщини. Взаємний рух води й виділюваного осаду може здійснюватися за перехресною (у поличних відстійниках), прямоочною або проти очною (у поличних і трубчастих відстійниках) схемами.

У разі перехресної схеми виділений осад рухається перпендикулярно руху води, а за прямоочною і протиточною схемами – відповідно за ходом руху прояснюваної води або у зворотному напрямі.

Тонкошарові відстійники складаються з водорозподільної й водозбірної зон, а також із відстійної зони (тонкошарового простору), зайнятої поличними або трубчастими елементами.

Тонкошарові елементи поличного або трубчастого типу виконуються із плоских або гофрованих листів металу (сталь, алюміній), переважно із пластмаси (поліпропілену, поліетилену, склопластику).

На рисунках 9.14–9.15 представлено конструкцію тонкошарового відстійника й схему його роботи. Стічна рідина по розподільних трубопроводах через штуцер з відбивними щитками й шайбами надходить у клинчасті щілини, які виконують функцію водорозподільного пристрою. Рівномірно розподілена по трубах блоків вода прояснюється й надходить у водозбірні щілини, потім збирається водозбірними лотками й приділяється з відстійника через жолоби.

Осад по трубах безупинно сповзає проти напрямку руху води й, рухаючись униз по щілині, захоплює із собою частину дрібнодисперсних завислих речовин зі стічної води, що надходить і у такий спосіб збільшує загальну ефективність прояснення. Виділений осад збирається в мулових прямках і видаляється під гідростатичним напором.

Плаваючі забруднення збираються в порожнинах на поверхні, обмеженої збірними жолобами, і видаляються поворотними трубами. Тонкошарові відстійники типу ІНСТЕБ-ПТ-02 (рис. 11.15) випускає Курський інститут екологічної безпеки. Застосування тонкошарових елементів дає змогу значно скоротити тривалість відстоювання й, отже, обсяг відстійників.

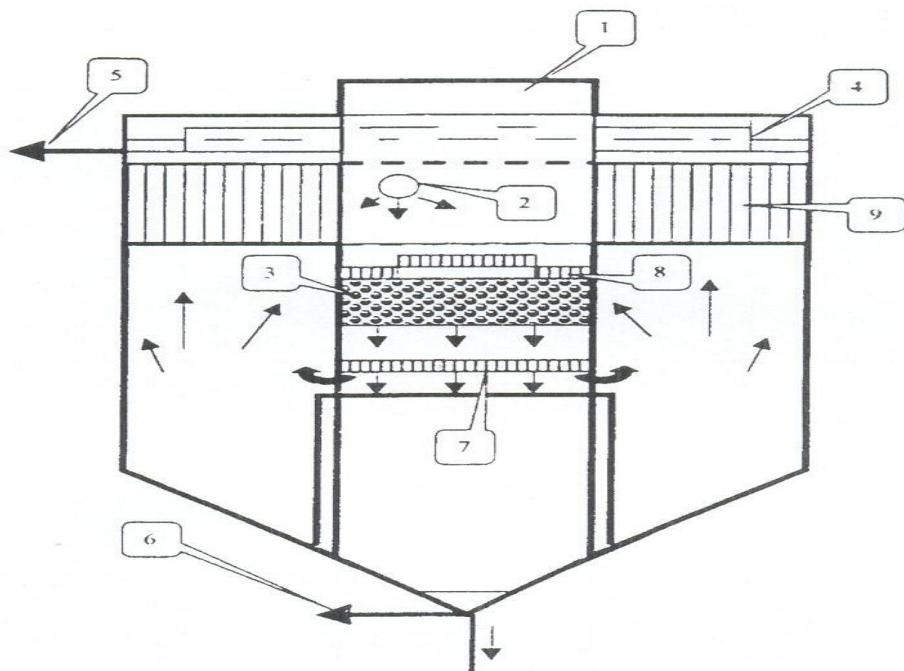


Рисунок 11.14 – Вертикальний тонкошаровий відстійник із контактною камерою пластівцеутворення:

1 – камера пластівцеутворення; 2 – подача вихідної води; 3 – контактне плаваюче завантаження; 4 – збірний лоток; 5 – відвід проясненої води; 6 – збір осаду; 7, 8 – нижня й верхня підтримувальні решітки, відповідно; 9 – тонкошарові сотові блоки

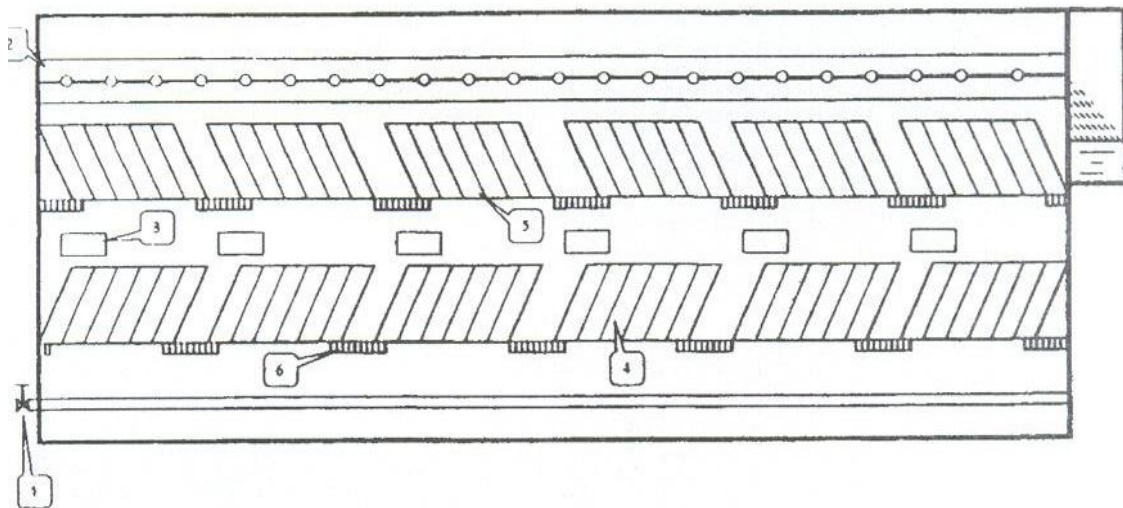


Рисунок 11.15 – Тонкошаровий прояснювач, обладнаний тонкошаровою камерою пластівцеутворення: 1 – подача вихідної води; 2 – збір проясненої води; 3 – шлаковідвідні вікна; 4 – тонкошарова камера пластівцеутворення; 5 – тонкошарові відстійні сотові блоки; 6 – поперечні опори під блоки

ТЕМА 12 ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ГІРНИЧОМЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ ВІД ТВЕРДОЇ ФАЗИ І ФЛОТОРЕАГЕНТІВ

1. Гравітаційне осадження та ущільнення шламів металургійного виробництва. Сучасні технологічні і апаратурно-технологічні схеми процесів
2. Новітні технології, розроблені в ДП «УкрНТЦ «Енергосталь». Гравітаційне зневоднювання суміші суспензій газоочисток доменних печей й аглоцеха під впливом постійного електричного струму

12.1 Гравітаційне осадження й ущільнення шламів металургійного виробництва

Металургійне виробництво нерозривно пов'язано з великим водоспоживанням: 4,57 м³ на 1 т чавуну; 1,42 м³ на 1 т сталі; 3,13 м³ на 1 т прокату; 9,8–74 м³ на 1 т феросплавів; 14,4 м³ на 1 т труб; (за даним ВНДІВОДГЕО). Вода в металургії використовується для охолодження доменних, мартенівських й електросталеплавильних печей, мокрого очищення газів, гідротранспорту окалини, пилу й шлаків.

Тверді відходи (шлами, шлаки, пилу тощо) металургійної промисловості, містять хімічні сполуки важких і рідких металів (Fe, Zn, Mn, Mg, Cr). Ці сполуки небезпечні для здоров'я людини й навколишнього природного середовища, їхній зміст у шламах досягає високих концентрацій, що дає змогу розглядати їх як цінну сировину для повторного використання.

Сьогодні рівень нагромадження відходів на території України досяг приблизно 35 млрд. т, з яких 4,5 млрд. т є токсичними. Загальна площа земель, займана відходами, досягає майже 45 тис. га. Відходи металургійного комплексу (шлаки доменного, сталеплавильного, феросплавного виробництва тощо), сумарно становлять приблизно 22 млн. т/рік [4].

Основним рішенням скорочення водоспоживання металургійних підприємств є створення оборотних циклів водопостачання, у які зазвичай входять споруди з поділу стічних вод на тверду й рідку фази, з подальшим охолодженням і поверненням проясненої води у виробництво. Отриманий осад з вологістю 80–96 % подають на згущення й механічне зневоднювання.

Основний обсяг залізовмісних шламів, що утворюються в чорній металургії, утилізується з використанням традиційних способів осадження, згущення й механічного зневоднювання в прес- і вакуумних фільтрах. Це супроводжується більшими трудо- і енерговитратами.

Придатність шламу до утилізації, вибір технологічної схеми й обладнання для зневоднювання визначаються механічними й фізико-хімічними властивостями шламу. Своєрідність будови молекул води, що володіють значним дипольним моментом, водневими зв'язками, оригінальністю структури, потребує уважного вивчення поведінки води в наявних технологічних процесах.

Фахівцями ДП УкрНТЦ «Енергосталь» вивчено можливість інтенсифікації гравітаційного осадження й ущільнення шламів металургійної промисловості під впливом постійного електричного струму. Дослідження

проводили на стічних водах мокрих газоочисток доменних печей комбінату «Запоріжсталь». Шлами доменних газоочисток та їхня шламова вода значно відрізняються від мартенівських, які працюють із газами, що містять велику кількість оксидів сірки, азоту, вуглецю (H_2SO_3 , H_2SO_4 , H_2CO_3 , HNO_3), мають кислу реакцію рН (3,5–5,5) і дуже дрібні зважені частки. Значне виділення в доменному процесі азоту амонійного, роданідів із коксу, а також вапна й лужних компонентів із шихти призводить до різкого збільшення рН шламової води (рН 8–9), її меншої агресивності, тому зважені частки осаджуються у вигляді великих і важких агрегатів.

Використання постійного електричного струму дає можливість більш повніше гравітаційно видалити вологу з пористого простору шляхом зменшення радіуса гідратованих іонів.

Гранулометричний склад шламів газоочисток доменних печей установлений за допомогою фотоседиментометра та наведено у таблиці 12.1 [9,10].

Таблиця 12.1 – Гранулометричний склад шламів газоочисток доменних печей

Розмір фракцій, мкм	>70	40–70	10–40	4–10	2–4	1–2	<1
Вміст, % мас	5	10	19	11	13	21	21

Полідисперсна суміш твердої фази суспензій таких ПСВ має гідравлічну крупність у воді $U_0 = 0,15 \text{ мм/с}$ для концентрації завислих частинок до 2 %; $U_0 = 0,25 \text{ мм/с}$ для концентрації зважених частинок до 3 %; $U_0 = 0,6 \text{ мм/с}$ для концентрації зважених частинок до 95 %.

Хімічний склад твердої фази суспензій, представлений здебільшого гідрооксидами й оксидами заліза та наведено у таблиці 12.2.

Стічні води мають такі характеристики: рН – 8,3; лужність – 8,0 мг-екв/дм³; твердість – 8,0 мг-екв/дм³; Ca^{2+} – 5,0 мг-екв/дм³; Mg^{2+} – 3,0 мг-екв/дм³; Cl^- – 365 мг/дм³; SO_4^{2-} – 676,0 мг/дм³; сухий залишок – 972 мг/дм³.

Таблиця 12.2 – Хімічний склад твердої фази суспензій газоочисток доменних печей

Компоненти	$\text{Fe}_{\text{заг}}$	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	C	Втрати внаслідок прожарювання
Вміст основних компонентів, % мас	50-57	11,8	1,0	10,8	1,3	10,3	10,7

За результатами вимірів побудовані графіки процесу гравітаційного осадження твердої фази суспензій газоочисток доменних печей залежно від температури й часу обробки постійним електричним струмом (рис. 10.1–10.3).

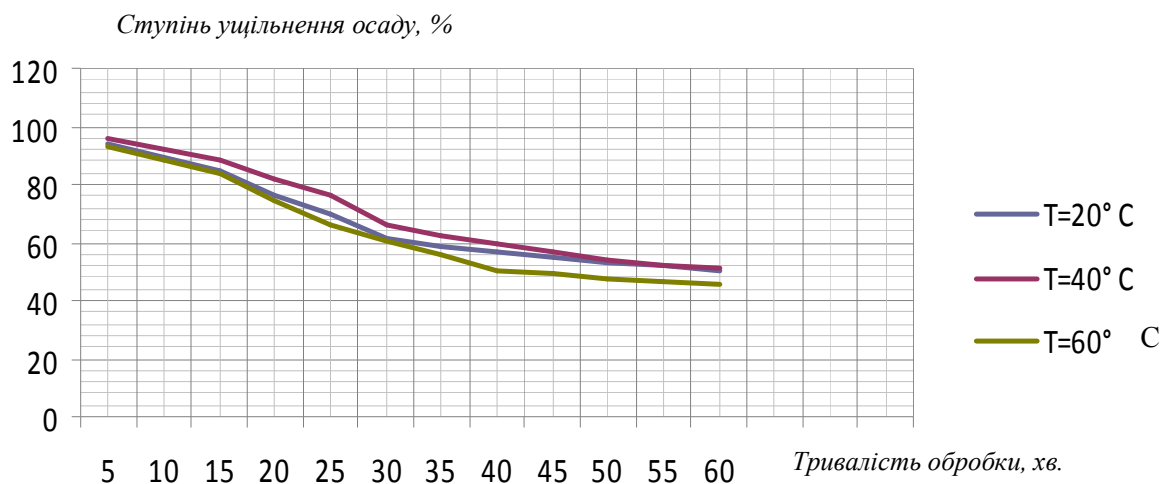


Рисунок 12.1 – Графічна залежність ступеня ущільнення шламового осаду від часу обробки його напругою постійного струму $U = 100$ В.

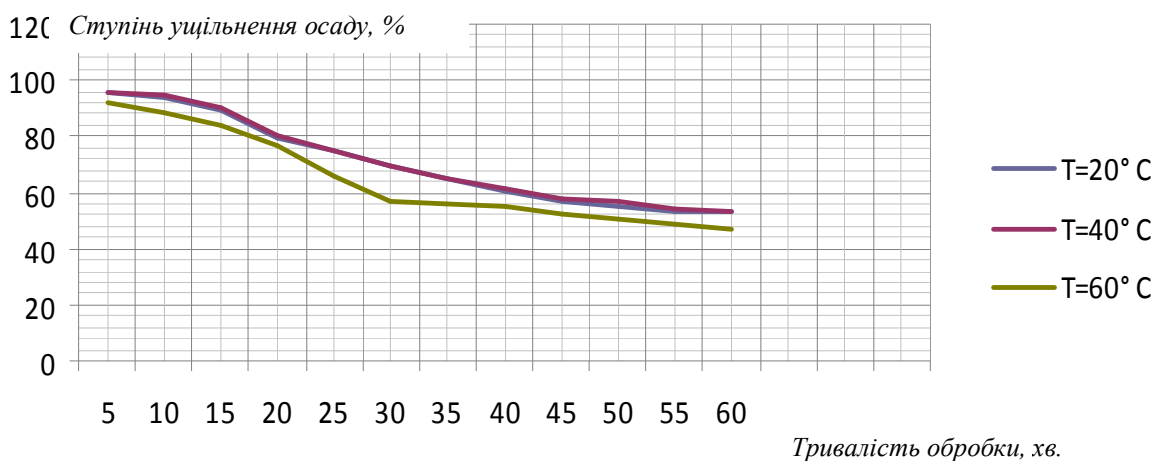


Рисунок 12.2 – Графічна залежність ступеня ущільнення шламового осаду від часу обробки його напругою постійного струму $U = 150$ В.

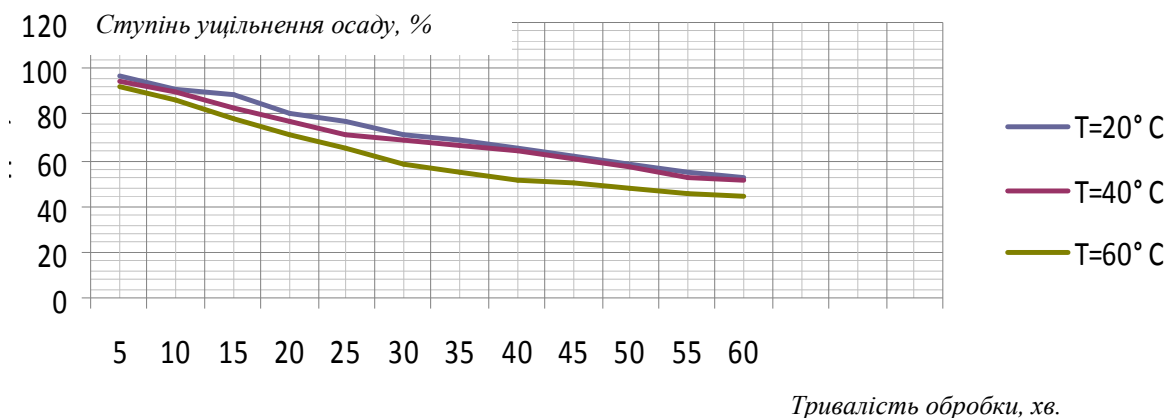


Рисунок 12.3 – Графічна залежність ступеня ущільнення шламового осаду від часу обробки його напругою постійного струму $U = 200$ В.

Графічні залежності (рис. 12.1–12.3) показують, що найбільше ущільнення шламу досягається при температурі 60 °С і напрузі електричного струму 200 В і становить 44,41 %.

12.2 Новітні технології, розроблені в ДП УкрНТЦ «Енергосталь»

Гравітаційне зневоднювання суміші суспензій газоочисток доменних печей й аглоцеха під впливом постійного електричного струму

Таблиця 12.3 –Хімічний склад твердої фази суспензій газоочисток аглоцеха

Компоненти	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	C	Втрати внаслідок прожарювання
Вміст, %	8,7	51,8	14,1	1,3	9,3	1,1	8,3	5,7

Стічні води газоочисток аглоцеху мають високі значення рН, твердості й лужності внаслідок вилугування основної кількості вапна із шихти.

Таблиця 12.4 Гранулометричний склад твердої фази суспензій газоочисток аглоцеху

Розмір фракцій, мкм	>250	250-150	150-50	50-40	40-30	30-20	20-10	10-5	<5
Вміст, %	3	11	20	13	14	14	12	7	6

Процеси згущення, осадження й зневоднення суспензій газоочисток металургійного виробництва, спочатку вивчали без застосування постійного електричного струму, а пізніше були проведені активні експерименти з осадження та їхнього гравітаційного зневоднення при температурах 20, 40, 60 °С з обробкою постійним електричним струмом напругою 100, 150, 200 В протягом 1 год. Стічні води піддавали електролізу, що супроводжувалося зменшенням концентрації іонів у рідкій фазі й зменшенням їхніх іонних радіусів. Унаслідок цього збільшувалася швидкість осадження й ступінь зневоднення твердої фази суспензій. Однак значний ефект ущільнення при цьому не досягався. Суспензії газоочисток доменних печей ущільнювалися до 44,4 %, шлами аглофабрики – до 32 %, а суміші суспензій газоочисток доменних печей й аглофабрики – до 31 %. Через це було вирішено продовжувати триваліше їхнє оброблення постійним електричним струмом із напругою 200 В з обліком впливу електрокінетичних явищ на границі розділу фаз.

Подальші дослідження осадження шламів проводили на установці для дослідження електрокінетичних явищ при гравітаційному зневоднюванні шламів під дією постійного електричного струму.

На процес фільтрації має сильний вплив фракційний склад суспензій, доменні суспензії переважно містять дрібнодисперсні частки, що й обумовило зниження коефіцієнта фільтрації.

Проведення досліджень доводить, що максимальний ступінь ущільнення суспензій газоочисток доменних печей та агломераційного цеху досягається при температурі 60 °С і напрузі 200 В.

У доменних суспензій коефіцієнт фільтрації нижче, ніж в агломераційних, що обумовлено їхніми різними фізичними характеристиками й хімічним складом стічних вод. У разі змішання суспензій доменного й агломераційного цехів у запропонованій пропорції підвищується початкова концентрація розчинених катіонів, відповідно збільшується ξ – потенціал на поверхні розділу фаз, що загалом призводить до збільшення коефіцієнта фільтрації суміші й скороченню часу її гравітаційного зневоднювання.

Співвідношення суміші шламів газоочисток доменних печей й агломераційного цеху, 2,5:1, дає змогу на першому етапі за допомогою седиментаційних процесів гравітаційного осадження часток із різним гранулометричним складом без оброблення електричним струмом і синергічною дією при цьому електрокінетичних процесів на етапі ущільнення осаду, поліпшити щільність суміші суспензій до 28,6 % і вміст води до 35,4 %, що дозволяє оптимізувати витрати електроенергії на гравітаційне зневоднювання осаду суміші суспензій при щільності струму на 1 м² фільтрувальної поверхні 73,7 А і часу оброблення 12000 с до досягнення вологості 24–25 %, витрати електричної енергії становлять 23,54 кВт×год/т.

Горизонтальний відстійник для гравітаційного зневоднення суспензій під впливом постійного електричного струму

Розроблена модель відстійника за допомогою особливостей конструкції дна з дренажним шаром та установки графітових електродів забезпечує підвищення ефективності зневоднення до необхідного степеня.

Відстійник розроблений для зневоднювання осадів металургійних підприємств. Він містить лотки для підведення стічних вод і відводу проясненої води, осадову камеру для збирання осаду, під якою розташована дренажна система. Дно відстійника виконане у вигляді жолобів, заповнених відсіванням коксу і з'єднаних із дренажними лотками, у яких додатково розміщені графітові електроди, з'єднані із трансформатором постійного струму. Катоди розміщуються в дренажних лотках, аноди – на поверхні стічних вод в осадовій камері. Дренажні води збирають в резервуар із насосом, зневоднений осад видаляють козловим грейферним краном.

Устаткування працює в такий спосіб (рис. 12.4). Горизонтальний відстійник (поз. 1) по лотках (поз. 2) безупинно заповнюється згущеною до 70–80 г/дм³ пульпою, починається процес осадження зважених часток в осадовій камері (поз. 4) з відводом проясненої води лотками (поз. 3) і відводом дренажних вод через дренажну систему (поз. 5) у резервуар відводу дренажних вод із насосом (поз. 11). Після заповнення осадової камери (поз. 4), подачу пульпи в горизонтальний відстійник (поз. 1) зупиняють. Від трансформатора (поз. 10), на графітові електроди – катоди (поз. 8), і графітові електроди – аноди (поз. 9), подають постійний струм з інтенсивністю не менше 0,22 А.

Накопичений шар осаду продовжує ущільнюватися, відбувається процес електролізу залишків води у твердому осаді з дегідратацією іонів, що значно прискорює процес зневоднювання, зменшує ступінь вологості осаду, зменшує розміри капілярів в обсязі осаду між частками шламу. Після досягнення необхідного ступеня вологості осад з осадової камери (поз. 4) грейферним краном (поз. 12) вивантажують і відправляють на вторинне перероблення. Очищений від осаду горизонтальний відстійник знову починають заповнювати пульпою й процес оброблення повторюється.

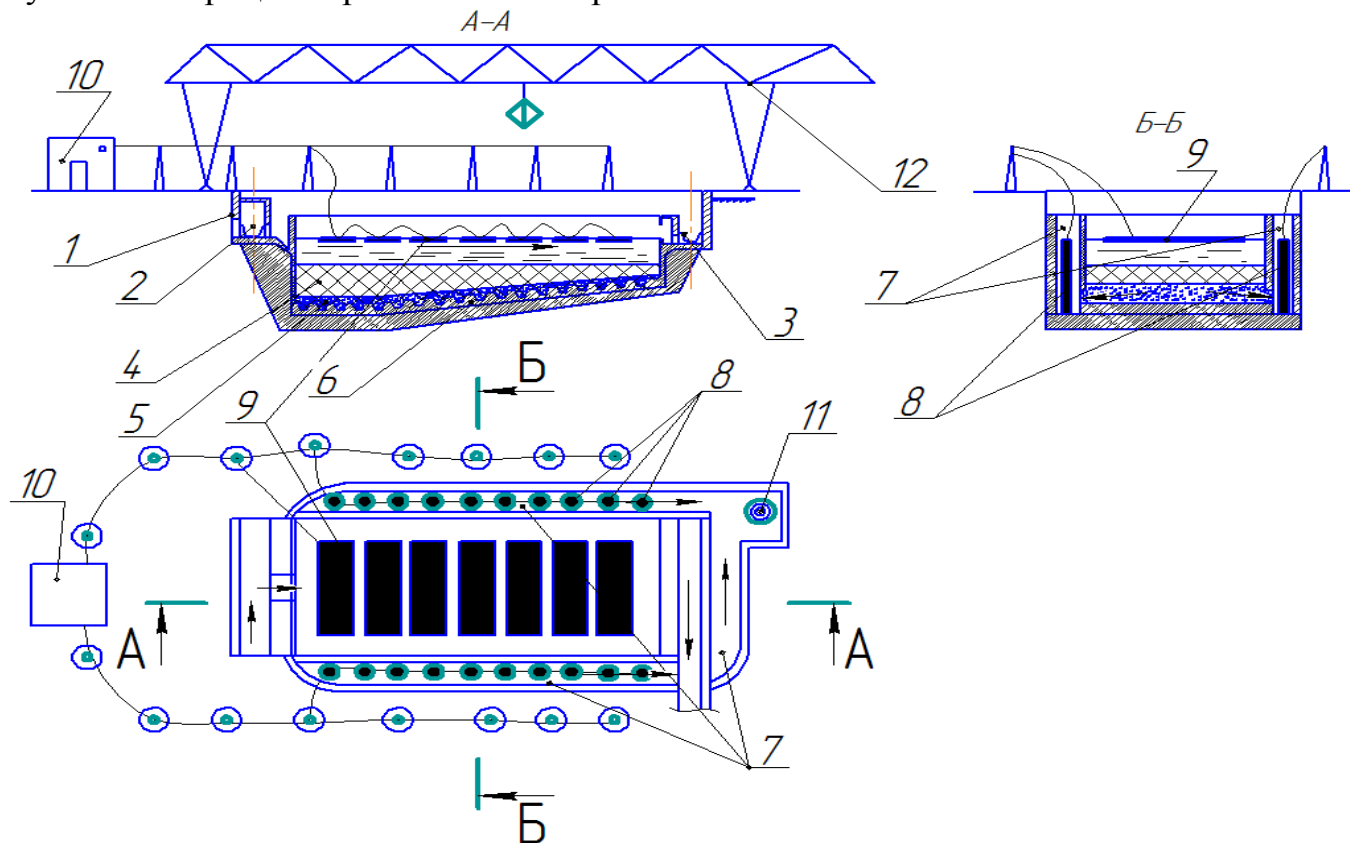


Рисунок 12.4 – Апаратурно-технологічна схема горизонтального відстійника для зневоднення залізовмісних шламів металургійних підприємств:

1 – корпус горизонтального відстійника; 2 – підвідний лоток; 3 – лоток;
4 – осадова камера; 5 – дренажна система; 6 – дно відстійника; 7 – дренажні лотки; 8 – графітові електроди (катоди); 9 – графітові електроди (аноди);
10 – трансформатор постійного струму; 11 – дренажний насос; 12 – грейферний кран

Пропоноване обладнання забезпечує зневоднювання залізовмісних суспензій, які входять до складу стічних вод металургійних підприємств, з його допомогою може бути досягнутий ступінь зневоднювання 18–25 %. При щільності струму на 1 м^2 фільтрувальної поверхні твердої фази газоочисток доменних печей – $61,1 \text{ А/м}^2$; аглоцеху – $116,8 \text{ А/м}^2$; суміші суспензій газоочисток доменних печей й аглоцеху $73,7 \text{ А/м}^2$.

Нормативними документами передбачене згущення залізовмісних шламів у згущувачах та їхнє механічне зневоднювання на вакуум фільтрах і фільтр-пресах, що призводить до значного збільшення витрат. Відомий спосіб

гравітаційного зневоднювання в горизонтальних відстійниках без обробки, але за умов значної тривалості процесу (10–15 діб) це призводить до збільшення складу обладнання.

Зниження витрат на зневоднювання залізовмісних металургійних суспензій із незначною тривалістю технологічного процесу можливо через вплив на них постійним електричним струмом. В осаді виникають електроосмотичні процеси з видаленням капілярної вологи, що заповнює порожнечі й пори. Потім видаляється адсорбційна волога, що перебуває на поверхні частинок шламу у вигляді плівок і крапель.

Для поліпшення процесу зневоднювання залізовмісних шламів металургійного виробництва гравітаційному осадженню піддають суміш суспензій газоочисток доменних печей й аглоцеха при співвідношенні (2,5–3,0):1, і осад обробляють постійним електричним струмом до досягнення вологості 23–25 %. Витрати електроенергії при цьому становитимуть 6–9 кВт/год на 1 т твердої фази суспензії.

Витрати електроенергії на етапі гравітаційного осадження виключають, електроліз шламової води не проводять, видалення води з поверхні шламу інтенсифікують додатковими насосами й ежекторами. На етапі зневоднювання осаду обробку суміші суспензій здійснюють постійним струмом із щільністю $73,7 \text{ А/м}^2$ до досягнення вологості 23–25 %.

У технології використання залізовмісних суспензій у шихті агломераційного цеху для утворення однорідної маси шихтових матеріалів перед спіканням достатньо щоб вологість шламів знизилася до 25 %, інакше доводиться штучно зволожувати шихту.

Спосіб здійснюють так: стічні води газоочисток доменних печей й аглоцеху надходять на споруди для вловлювання й згущення завислих частинок до концентрації $400\text{--}600 \text{ кг/м}^3$ двома потоками, після чого в співвідношенні (2,5–3,0):1 спрямовують на зневоднювання в горизонтальний відстійник. Після заповнення осадом горизонтального відстійника й видалення з його поверхні проясненої води ежектором підключають установку для обробки осаду постійним струмом із щільністю $73,7 \text{ А/м}^2$ на період 1,67 год, що є достатнім для досягнення вологості осаду 25 %, після чого обробку електричним струмом припиняють, грейферним краном осад вивантажують із осадової камери відстійника в залізничні вагони й направляють для повторного використання на аглофабрику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посібник / Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
2. Браславский И. И. Проектирование бессточных схем промышленного водоснабжения / И. И. Браславский, В. Д. Семенюк, А. М. Когановский – Київ : Будівельник, 1977. – 204 с.
3. Шабалин А. Ф. Обратное водоснабжение промышленных предприятий / А. Ф. Шабалин. – М. : Стройиздат, 1972. – 296 с.
4. Аксенов В. И. Водное хозяйство промышленных предприятий : справ. пособие / В. И. Аксенов. – М. : Теплотехник, 2005. – 640с.
5. Иванов В. Г. Водоснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие / В. Г. Иванов. – СПб : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537 с.
6. Красавцев Г. Н. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии / Г. Н. Красавцев, Ю. И. Ильичев, А. И. Кашуба. – М. : Металлургия, 1989. – 288 с.
7. Кучеренко Д. И. Обратное водоснабжение (системы водяного охлаждения) / Д. И. Кучеренко, В. А. Гладков. – М. : Стройиздат, 1980. – 168 с.
8. Защита водоемов от загрязнения сточными водами предприятий черной металлургии / Г. М. Левин, Г. С. Пантелют, И. А. Ванштейн, Ю. М. Супрун. – М. : Металлургия, 1978. – 216 с.
9. Вахлер Б. Л. Водоснабжение и водоотведение на металлургических предприятиях : Справочник. – М. : Металлургия, 1977. – 320 с.
10. Андоньев С. М. Особенности промышленного водоснабжения / С. М. Андоньев. – К. : Будівельник, 1981. – 246 с.
11. Сериков Н. Ф. Водное хозяйство заводов черной металлургии / Н. Ф. Сериков. – М. : Металлургия, 1973. – 91 с.
12. Аксенов В. И. Замкнутые системы водного хозяйства металлургических предприятий / В. И. Аксенов. – 2-е изд, перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1991. – 124 с.
13. Касимов А. М. Малоотходные и энергосберегающие технологии в производстве редких и тяжелых цветных металлов / А. М. Касимов. – М. : Металлургия, 1990. – 112 с.
14. Касимов А. М. Управление промышленными отходами : учебн. пособие: в 2 кн. / А. М. Касимов. – Харьков : РИП «Оригинал», 2000. – Кн. 2: Технологии обезвреживания и утилизации промышленных отходов. – 288 с.
15. Березюк В. Г. Очищення сточних вод с применением поверхностно-активных веществ / В. Г. Березюк, О. В. Евтюхова, А. М. Касимов. – М. : Металлургия, 1996. – 104 с.
16. Гольман А. М. Ионная флотация / А. М. Гольман. – М. : Недра, 1982. – 142 с.
17. Касимов А. М. Разработка способов очищення металлосодержащих сливных вод с использованием химически активных реагентов / А. М. Касимов, О. В. Голощапов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2004. – Вып. 37. – С. 122–129.

18.Промышленные отходы. Проблемы и решения. Технологии и оборудование : учебное пособие / [А. М. Касимов, В. Т. Семенов, А. А. Романовский] ; п/ред. А. М. Касимова. – Харьков : ХНАГХ. – 2007. – 436 с.

19.Современные проблемы и решения в системе управления опасными отходами: учебное пособие / [А. М. Касимов, В. Т.Семенов, Н. Г.Щербань, В. В.Мясоедов] ; п/ред. А. М. Касимова. – Харьков : ХНАГХ, 2008. – 510 с.

20.Управление опасными отходами : монография. [А. М. Касимов, Л. Л. Товажнянский, В. И. Тошинский, Д. В.Сталинский] ; под ред. А. М. Касимова. – Харьков : Изд. Дом НТУ «ХПИ». – 2009. – 500 с.

21.Семиноженко В. П. Промышленные отходы : проблемы и решения : монография / В. П. Семиноженко, Д. В. Сталинский, А. М. Касимов. – Харьков : Изд-во «Индустрия». – 2011. – 544 с.

22.Касимов А. М. Основные мероприятия по ликвидации ущерба окружающей природной среде в районе размещения накопителей отходов металлургических заводов / А. М. Касимов // Черная металлургия. – 2011. – Вып. 12 (1344). – С. 70–72.

23.Касимов А. М. К вопросу сгущения суспензий железосодержащих взвесей сточных вод металлургического комбината «Запорожсталь» / А. М. Касимов, А. А. Атаманюк // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2012. – № 5. – С. 95–97.

Навчальне видання

КАСІМОВ Олександр Меджитович

АЙРАПЕТЯН Тамара Степанівна

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«ЗВОРОТНІ І БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»

(для студентів освітнього рівня «магістр»

спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,

*спеціалізація (освітня програма) «Раціональне використання і охорона
водних ресурсів»)*

Відповідальний за випуск *К. Б. Сорокіна*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2017, поз. 86Л

Підп. до друку 05.09.2017
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60×84/16
Ум. друк. арк. 8,1
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.